92-00471/

La figure qui illustre la couverture s'inspire d'un hiéroglyphe représentant l'œil pénétrant d'Horus, le tout-puissant dieu du ciel de l'ancienne Égypte. Divisé en parties, cet «œil aérien» servait à calculer les fractions. Curieusement toutefois, plutôt qu'un nombre entier, ou parfait, la somme de ses parties égalait 63/64. De même, le processus de la vérification n'atteindra probablement jamais la perfection.

De nos jours, l'un des éléments essentiels du processus multilatéral de vérification du contrôle des armements est sans doute l'«œil aérien» discret que représente un système de télédétection aéroporté ou spatial. Diverses méthodes de vérification, dont les capteurs au sol, ainsi que certaines formes d'inspection sur place et de surveillance, ajouteront à l'efficacité de ces techniques d'imagerie aérospatiale. Comme l'œil d'Horus, l'«œil» de la vérification est la somme de tous ces moyens techniques. Il reste que la vérification matérielle ne constituera pas nécessairement une solution définitive. Il est même probable que le processus continuera d'être entaché d'incertitude. En conséquence, la vérification ne sera adéquate et efficace que si l'on fait appel à l'élément intangible qu'est le jugement, représenté par la partie cachée de l'œil d'Horus.

Études ponctuelles sur la vérification du contrôle des armements

La Direction du contrôle des armements et du désarmement d'Affaires extérieures et Commerce extérieur Canada publie occasionnellement des études sur la vérification du contrôle des armements et du désarmement afin de diffuser, dans le cadre des travaux suivis que le Ministère effectue dans ce domaine, les résultats de recherches indépendantes réalisées pour son compte.

LES OPINIONS EXPRIMÉES DANS CE RAPPORT SONT PERSONNELLES ET NE REFLÈTENT PAS NÉCESSAIREMENT CELLES D'AFFAIRES EXTÉRIEURES ET COMMERCE EXTÉRIEUR CANADA OU DU GOUVERNEMENT DU CANADA.

An English version of this study is available. To obtain a copy, please contact:

Arms Control and Disarmament Division
External Affairs and International Trade Canada
Tower A, 6th Floor
125 Sussex Drive
Ottawa, Ontario
Canada
K1A 0G2.

Affaires extérieures et Commerce extérieur Canada
N° de catalogue MAS E54-8/7-1991F
ISBN 0-662-96983-9
ISSN 0840-772X

Août 1991

Des satellites qui en endommagent d'autres

par Peter C. Hughes

Dynacon Enterprises Ltd.

Document rédigé pour le compte de

la Direction du contrôle des armements et du désarmement,

Affaires extérieures et Commerce extérieur Canada

Ottawa (Ontario), Canada

Données de catalogage avant publication (Canada)

Hughes, Peter C. (Peter Carlisle), 1940-

Des satellites qui en endommagent d'autres

(Études ponctuelles sur la vérification du contrôle des armements;
ISSN 0840-772X; nº 7)
Publié aussi en anglais sous le titre :
Satellites Harming Other Satellites.
ISBN 0-662-96983-9
Nº de cat. MAS E54-8/7-1991F

1. Armes spatiales. 2. Antisatellites. 3. Satellites artificiels — Poursuite.
4. Armement — Contrôle — Vérification. I. Canada. Direction du contrôle des armements et du désarmement. II. Titre. III. Collection.

UA12.5H8414 1991 35'8.8 C91-098687-7

Table des matières

		Page
Liste des tableaux		iv
Liste des figures		v
Résumé		vi
Abstract		vi
Préface		vii
Remerciements		vii
Liste des abréviations		viii
Chapitre 1 :	**Introduction**	1
PARTIE I :	**LES OPÉRATIONS AVEC SATELLITES**	
Chapitre 2 :	**Les opérations avec satellites, actuelles et envisagées**	3
Chapitre 3 :	**Opérations spatiales à caractère ambigu**	8
Chapitre 4 :	**Dissiper l'ambiguïté**	13
PARTIE II :	**ANALYSE DE L'ENDOMMAGEMENT DES SATELLITES**	
Chapitre 5 :	**Modes d'endommagement**	16
Chapitre 6 :	**Analyse des dommages causés à un satellite par un autre (dommages intersatellites)**	22
Chapitre 7 :	**La vérification**	26
Chapitre 8 :	**Indices quantitatifs d'endommagement**	31
Chapitre 9 :	**Calcul automatisé de l'indice d'endommagement. Le logiciel HARMDEX**	33
PARTIE III :	**MESURES DE RENFORCEMENT DE LA CONFIANCE**	
Chapitre 10 :	**Distance d'où les dommages sont causés**	37
Chapitre 11 :	**Les zones interdites**	41
Chapitre 12 :	**Surveillance autonome, radiophares de vérification**	45
Chapitre 13 :	**Réglementer les armes spatiales**	48
Chapitre 14 :	**Conclusions**	53
NOTES		55

Liste des tableaux

		Page
Tableau 1 :	Systèmes spatiaux actuels à fins non militaires	5
Tableau 2 :	Systèmes spatiaux prévus, à fins non militaires	5
Tableau 3 :	Systèmes spatiaux actuels à fins militaires	6
Tableau 4 :	Systèmes spatiaux futurs à fins militaires (possibilités)	7
Tableau 5 :	Opérations spatiales ambiguës détectables	13
Tableau 6 :	Catégories de modes d'endommagement	17
Tableau 7 :	Les vingt-neuf modes d'endommagement étudiés	17
Tableau 8 :	Stratégie de vérification	26
Tableau 9 :	Capacités critiques	27
Tableau 10 :	Fiche d'information type sur un mode d'endommagement (Modèle)	28
Tableau 11 :	Liste de vérification (Modèle)	29
Tableau 12 :	Caractéristiques souhaitables des zones interdites	42
Tableau 13 :	Aperçu des traités pertinents	49
Tableau 14 :	Techniques de vérification pertinentes	49

Liste des figures

		Page
Figure 1 :	Méthode d'analyse	23
Figure 2 :	Deux types de zone interdite	24
Figure 3 :	Un satellite Asat soviétique	34
Figure 4 :	*Radarsat* — Un satellite canadien de reconnaissance des ressources de la Terre	35
Figure 5 :	Domaines toriques de létalité potentielle	39
Figure 6 :	*Alouette I*	46

Résumé

L'auteur élabore une stratégie de vérification pour évaluer les dommages qu'un satellite peut causer à un autre. Il définit vingt-neuf façons dont ces dommages peuvent être infligés et il explique les paramètres et les caractéristiques propres à chacune. Il est ainsi en mesure d'établir un index global et quantitatif des dommages (en fonction d'un satellite cible type) pour n'importe quel satellite. L'auteur élabore également une stratégie détaillée de vérification pour chacun des vingt-neuf moyens susceptibles d'être employés pour infliger des dommages à un autre satellite. Il examine les opérations spatiales à buts pacifiques qui auront lieu au cours des vingt prochaines années et relève ainsi plusieurs ambiguïtés relatives à leur usage réel. L'auteur analyse aussi quelques mesures propres à accroître la confiance dans ce domaine. Il s'interroge sur la notion de «zones interdites» et montre que les idées traditionnelles concernant ces dernières sont simplistes et impraticables. Il propose un nouveau concept : une zone protégée dans l'espace libre. Parmi les moyens techniques de vérification d'un traité sur les zones interdites, l'auteur mentionne les méthodes bien établies servant à suivre les satellites et à prédire leur orbite.

Abstract

A strategy is developed for assessing the harm that one satellite can do to another. A total of 29 modes are identified through which this harm can transpire, and the parameters and characteristics of each are explained. An overall, quantitative index of harm can be calculated (with respect to a nominal target satellite) for any satellite. A detailed verification strategy for each of these harm modes is also worked out. Peaceful space operations for the next 20-year period are surveyed and possible ambiguities noted. Confidence-building measures are also evaluated. The notion of "keep-out zones" is explored and traditional ideas for such zones are shown to be simplistic and unworkable. A new, "free space" keep-out zone is proposed. The technical means for verification of a keep-out zone treaty include the well-established practices of satellite tracking and orbit prediction.

Préface

La présente étude intègre les résultats de quatre rapports techniques rédigés par *Dynacon Enterprises Ltd.* pour le Programme de recherche sur la vérification d'Affaires extérieures et Commerce extérieur Canada, entre le 1er avril 1987 et le 31 mars 1991.

L'auteur est le fondateur et le président de *Dynacon Enterprises Ltd.*

Remerciements

Ce fut tout d'abord Peter Stibrany qui, en 1987, songea à l'axe de cette recherche, dans le cadre de laquelle on examine rationnellement la question controversée des accords internationaux sur le contrôle et la vérification des «armes» spatiales, en recourant à une analyse quantitative des dommages qu'un satellite pourrait causer à un autre. M. Stibrany avait alors été détaché par *Spar Aerospace Ltd.* auprès d'Affaires extérieures et Commerce extérieur Canada. L'idée fut par la suite raffinée par Gabriele D'Eleuterio (qui rédigea la proposition technique gagnante) et Kieran Carroll, tous deux membres de *Dynacon Enterprises Ltd.*

D'autres membres de *Dynacon*, notamment Wayne Sincarsin et Donald McTavish, en plus de l'auteur, ont apporté leur contribution technique ultérieurement. C'est Don McTavish qui a défini le nouveau concept de zone interdite présenté dans ce document. Le président de *Dynacon*, Glen Sincarsin, s'est principalement chargé de la gestion du projet.

Le lieutenant-colonel F.R. (Ron) Cleminson, chef du Service de recherche sur la vérification, au sein de la Direction du contrôle des armements et du désarmement aux Affaires extérieures, a su insuffler l'énergie nécessaire à la réalisation du projet, tout en en voyant à la gestion financière. Il a bénéficié de l'aide technique efficace de Jeffrey Tracey. Par ailleurs, Alan Crawford a fourni de nombreux conseils fort utiles au stade de la révision du texte.

Liste des abréviations

AMB	Antimissile balistique
Asat	Antisatellite(s)
Dsat	(Système) Anti-Asat
GEO	Orbite des engins géostationnaires
HARMDEX	Logiciel servant à calculer l'indice d'endommagement d'un satellite donné (voir le chapitre 9)
ICBM	Missile balistique intercontinental
IDS	Initiative de défense stratégique (programme américain communément appelé «Guerre des étoiles»)
IR	Infrarouge (bande du spectre électromagnétique)
LEO	Orbite terrestre à basse altitude
NORAD	Commandement de la défense aérospatiale de l'Amérique du Nord
ONU	Organisation des Nations Unies
SALT	Traité sur la limitation des armements stratégiques
UV	Ultraviolet (bande du spectre électromagnétique)
Zint	Zone interdite (en particulier, le type présenté au chapitre 11)

Chapitre 1 : Introduction

Le problème de la limitation des armements et de la vérification, en ce qui concerne les systèmes spatiaux, présente de nombreux défis uniques en leur genre. Les pays industrialisés, en particulier les superpuissances, comptent désormais sur des systèmes spatiaux pour les communications, la surveillance, la navigation et bien d'autres fonctions et tâches. Les satellites qui remplissent des fonctions militaires stratégiques ou en appuient l'exécution, sont vulnérables, et c'est pourquoi on a mis au point des techniques antisatellites (Asat) dont on a démontré les applications et qui continuent à progresser. Comme il est fort possible que des engins spatiaux Asat menacent de précieux systèmes déployés dans l'espace, il y a d'autant plus lieu de mettre au point des techniques Asat de défense active contre les attaques; d'où les moyens défensifs contre les engins Asat, ou Dsat.

Jusqu'ici, on a tenté par des accords internationaux de limiter la prolifération des armes dans l'espace. Le *Traité de 1967 sur l'espace extra-atmosphérique* (TEEA) interdit de placer des armes de destruction massive dans l'espace, ce qui empêche, par exemple, la mise de bombes nucléaires sur orbite. Le *Traité de 1972 sur les missiles anti-missiles balistiques* (AMB) restreint la mise au point par les superpuissances de systèmes AMB tant spatiaux que terrestres, et il en interdit le déploiement. Comme bon nombre des techniques Asat modernes sont quasi identiques aux technologies AMB, le Traité de 1972 a eu pour effet de limiter la mise au point des systèmes Asat. À l'heure actuelle, Dieu merci, l'espace demeure relativement exempt d'armes, en partie grâce aux dispositions de ces traités, mais aussi parce qu'aucune arme spatiale Asat n'a jamais été déployée et que la mise au point de tels engins coûte très cher. Le défi actuel, fort heureusement, ne consiste pas à limiter une course aux armements dans l'espace, mais bien à en prévenir une.

Le présent document compte trois grandes parties. Dans la première, l'auteur passe en revue la vaste gamme d'opérations spatiales pour lesquelles on fait déjà appel à des satellites, et il évoque la gamme beaucoup plus vaste d'opérations qui pourraient, en toute logique, être menées par les satellites des premières décennies du vingt-et-unième siècle. Certaines de ces opérations nécessiteraient des «capacités critiques» qui permettraient d'infliger des dommages à d'autres satellites; d'autres, non. Parmi ces opérations (concevables) à venir, d'aucunes auront, par définition, pour objet de causer des dégâts, et d'autres non. Quand on examine cette multitude de possibilités, on constate que certaines des opérations spatiales envisagées s'apparentent clairement à l'utilisation d'une «arme» et que d'autres n'ont clairement pas cette nature, mais qu'un nombre relativement important

d'entre elles semblent avoir une destination ambiguë : elles pourraient appartenir aux deux catégories. L'auteur donne douze exemples précis et propose des moyens pour éliminer toute ambiguïté à cet égard.

La Partie II contient une analyse quantitative rigoureuse des dommages qu'un satellite donné peut (à tout le moins en théorie) infliger à un autre, une fois que ses paramètres et caractéristiques clés ont été définis. L'auteur présente de nombreuses méthodes (ou «modes») d'endommagement, et il quantifie les dégâts potentiels que chaque mode permettrait de causer. Puis, en superposant les données, il calcule la «dangerosité» possible de l'entité qu'est le satellite en question et il explique comment on pourrait vérifier chaque caractéristique et paramètre constituant sur lequel les calculs se fondent, ce qui confère une valeur pratique à l'analyse et de la crédibilité à ses résultats.

Enfin, la Partie III décrit un ensemble d'initiatives qui aideraient à régler les problèmes évoqués dans la Partie I, à partir de l'analyse technique fournie dans la Partie II. Citons notamment une nouvelle notion de «zone interdite», l'autosurveillance (ou surveillance autonome), des radiophares de vérification et — s'il faut vraiment qu'il y ait des armes dans l'espace — l'adoption d'une réglementation internationale.

PARTIE I : LES OPÉRATIONS AVEC SATELLITES

Chapitre 2 : Les opérations avec satellites, actuelles et envisagées

Le présent chapitre et les suivants portent essentiellement sur les travaux menés par *Dynacon* au sujet des opérations spatiales à long terme que l'on pourrait percevoir comme étant des recherches sur les armements spatiaux. Dans ce chapitre, l'auteur dresse un parallèle entre des projections établies d'une part sur les opérations *à fins non militaires* qui pourraient avoir lieu au cours des vingt prochaines années et, d'autre part, sur celles *à fins militaires*. Puis, dans le chapitre suivant, il accorde une attention spéciale aux opérations de la deuxième catégorie que l'on pourrait confondre, par inadvertance ou délibérément, avec des recherches sur les armements ou sur leur déploiement.

L'expérience acquise au cours des pourparlers sur la limitation des armements nous enseigne que, pour en garantir le succès, il importe de définir avec soin les objets à réglementer. En outre, nous voulons, dans la discussion qui suit, adopter une perspective suffisamment large pour traiter non seulement des systèmes spatiaux ayant déjà été mis au point, mais aussi de ceux qui pourraient l'être. Par ailleurs, la définition adoptée doit être assez précise pour que les activités spatiales souhaitables n'ayant aucun but guerrier ne soient pas entravées par les accords axés sur elle. Il importe de tracer avec grand soin la ligne de démarcation entre les opérations ambiguës et les autres.

2.1 Qu'est-ce qu'une arme spatiale ?

Avant d'aller plus loin, il convient de définir ce qu'est une «arme spatiale». Nous pourrions fournir de nombreuses définitions, mais pour les fins du présent document, nous dirons qu'une *arme spatiale* est un satellite possédant les deux propriétés essentielles suivantes :

a) il *peut* infliger des dommages considérables à d'autres satellites;

b) ses propriétaires *ont l'intention* de s'en servir pour endommager sérieusement d'autres satellites, en cas de «provocation suffisante».

Cette définition soulève de nombreuses autres questions, dont beaucoup sont abordées dans ce document. Plus particulièrement digne de mention, il y a le fait que la propriété «a» revêt essentiellement un caractère technique (complexe,

mais non à l'épreuve d'une analyse par des ingénieurs[1]), tandis que la propriété «b» suppose une connaissance des intentions des nations et de leurs dirigeants (ce qui nécessite des jugements d'une complication quasi impénétrable).

Il est particulièrement important de noter que, même si un satellite a la *capacité* d'en endommager un autre, il n'est pas dit qu'elle sera *mise à profit* nécessairement. De plus, même s'il n'est jamais possible de vérifier pleinement la nature des intentions, il est effectivement utile d'être au courant des opérations spatiales possibles, tant au moment présent que dans l'avenir (c'est l'objet du présent chapitre), de manière à pouvoir cerner (et, espérons-le, dissiper) toute ambiguïté qui surgit (l'objet des deux prochains chapitres).

2.2 Méthodologie

Nous dresserons d'abord la liste des opérations spatiales à fins non militaires, puis celle des opérations à fins militaires. Ensuite (prochain chapitre), nous établirons des catégories dans chaque liste ainsi que des références croisées entre les deux, de manière à repérer les opérations d'une liste qui pourraient être confondues avec des opérations de la seconde. Comme la discussion est axée sur les opérations spatiales à fin militaires, les ICBM, par exemple, n'entrent pas dans le cadre de notre étude, non plus que les armes Asat lancées depuis la Terre et les engins menaçant des objectifs lunaires.

Les analyses portant sur les caractéristiques des opérations spatiales à fins militaires suscitent souvent des questions, notamment en ce qui concerne la recherche et le développement, les essais et le déploiement. Lorsqu'il s'agit de définir avec précision ces activités, surtout dans le contexte des négociations et de l'interprétation des traités sur les armes, des débats intenses ont lieu. Par exemple, d'aucuns ont soutenu que l'Initiative de défense stratégique, qui a fait coulé beaucoup d'encre et que les États-Unis ont lancée dans les années 1980, constitue une violation directe du *Traité* de 1972 *sur les missiles anti-missiles balistiques*, lequel interdit entre autres la «mise au point» de systèmes AMB, à moins qu'il s'agisse de «recherche fondamentale». Nous ne ferons ici aucune distinction explicite entre ces sous-catégories d'opérations spatiales à fins militaires. En fait, comme nos projections doivent porter sur les opérations *possibles*, ce qui suppose que les recherches pourraient aboutir à des déploiements dans l'avenir, pareille distinction n'est pas utile.

2.3 Opérations spatiales à fins non militaires

Les satellites actuels exécutent une vaste gamme de fonctions. Le Tableau 1 donne une liste des opérations spatiales actuelles à fins non militaires. Il est possible de grouper les capacités sous de tels titres, en fonction de la principale fonction du véhicule spatial, car dans le cas des satellites, la forme tend à correspondre au

- Géodésie
- Astronomie
- Navigation
- Surveillance
- Météorologie
- Stations spatiales
- Communications
- Exploration lunaire
- Observation de la Terre
- Recherche et sauvetage
- Navettes orbitales habitées
- Recherches en physique de l'espace
- Exploration interplanétaire
- Expériences sur la microgravité

Tableau 1

Systèmes spatiaux actuels à fins non militaires

rôle. Par conséquent, tous les véhicules spatiaux s'acquittant d'une fonction donnée auront tendance à se ressembler beaucoup. Inversement, les caractéristiques observables d'un satellite en disent long sur ses rôles.

Outre les opérations déjà en cours, plusieurs nouvelles activités spatiales sont prévues pour l'avenir, y compris la réparation de satellites, l'exploration lunaire, la production et la transmission d'électricité dans l'espace, l'exploitation minière de la Lune et des astéroïdes et l'exploration de Mars. Ces activités nécessiteront dès lors diverses opérations spatiales nouvelles (à fins non militaires), telles que celles énumérées au Tableau 2. Souvent, la meilleure façon de les

- Bases lunaires
- Véhicules orbitaux lunaires
- Collecteurs de matériaux
- Micro-véhicules spatiaux
- Usines orbitales
- Bases interplanétaires
- Propulsion à l'antimatière
- Ferrys/Véhicules automobiles lunaires
- Satellites à énergie solaire
- Véhicules spatiaux à télérobots
- Exploration interstellaire
- Stations lunaires pour navettes
- Balayeurs de débris orbitaux
- Véhicules de transfert orbital
- Ferrys/véhicules automobiles interplanétaires
- Stations interplanétaires pour navettes

Tableau 2

Systèmes spatiaux prévus, à fins non militaires

désigner consiste à le faire en fonction du genre de véhicule nécessaire pour les exécuter. Certains de ces satellites existent déjà (par exemple, pour transporter des astronautes en orbite à destination d'une base lunaire, on recourra probablement, tout au moins au début, aux navettes orbitales actuelles qui feront escale à des stations spatiales opérationnelles ou devant le devenir bientôt) D'autres véhicules seront également mis au point. Les véhicules mentionnés dans le Tableau 2 s'ajoutent à ceux qui existent déjà.

2.4 Opérations spatiales à fins militaires

Le Tableau 3 donne une liste des opérations spatiales actuelles *à fins militaires*. Fait digne de mention, il existe très peu d'«armes spatiales» : sur les cinq qui sont mentionnées, seulement deux sont des «armes espace-espace»; les autres sont des armes sol-espace à ascension directe qui ne peuvent être mises en orbite. Dans deux cas, les programmes ont été annulés, et dans deux autres, on en est encore au stade de la mise au point. La rareté actuelle des armes spatiales est de bon augure pour les traités que l'on envisage de négocier. Le génie des armes spatiales ne s'est pas encore échappé de sa bouteille : une fois qu'il s'en sera évadé, il ne sera pas facile de l'y faire rentrer.

Tableau 3

Systèmes spatiaux actuels à fins militaires

- **Asat montée sur F-15 (É.-U.)**
- **Asat nucléaires (É.-U.)**
- **Asat nucléaires (URSS)**
- **Asat ERIS/SBI (É.-U.)**
- **Asat coorbitales (URSS)**

Un petit nombre d'armes Asat avaient été mises au point avant les années 1980, mais l'intérêt pour elle s'est beaucoup accentué au cours de cette décennie, surtout dans le cadre de l'Initiative de défense stratégique (IDS) aux États-Unis et des programmes parallèles menés en URSS[2]. En effet, on a lancé plusieurs programmes pour mettre au point des systèmes opérationnels, dont celui des fameux «cailloux futés» du *Lawrence Livermore Lab*. On disait toujours que c'était là des moyens de détruire des missiles balistiques (qui, d'après notre définition, ne sont pas des satellites, du fait qu'ils ne sont pas mis en orbite), mais certains observateurs ont souligné que ces armes seraient efficaces contre des cibles spatiales. Le Tableau 4 présente une gamme de possibilités qui existent, ou existeront dans l'avenir sur ce plan.

Tableau 4

Systèmes spatiaux futurs à fins militaires (possibilités)

- Canons à rails
- Mines spatiales
- Lasers à rayons-X
- Catapulte lunaire
- Satellites saboteurs
- Armes à radiofréquences
- Stations de combat au laser
- Miroirs lasers orbitaux
- Bombes nucléaires orbitales
- Faisceaux/nuages d'antimatière
- Projectiles intelligents, cailloux futés
- Armes à faisceaux de particules neutres
- Armes défensives montées sur les satellites
- Système de pistage des satellites monté sur les armes spatiales

Chapitre 3 : Opérations spatiales à caractère ambigu

La comparaison des listes des systèmes spatiaux à «fins militaires» et «non militaires» révèle l'existence d'ambiguïtés. Ce processus représente l'objectif central vers lequel a tendu le dernier chapitre. Les questions suivantes sont particulièrement pertinentes lorsqu'il s'agit de repérer les ambiguïtés :

a) Comment pourrait-on camoufler les armes spatiales ?

b) Comment des engins spatiaux conçus à l'origine à des fins pacifiques pourraient-ils finalement servir à des fins militaires ?

c) À quelles fins non militaires une arme spatiale pourrait-elle servir ?

d) Quelles caractéristiques feraient sans équivoque une arme d'un satellite ?

e) Quelles caractéristiques feraient sans équivoque d'un satellite un système à fins non militaires ?

La place nous manque ici pour procéder à une catégorisation détaillée de tous les systèmes possibles et de toutes les références croisées s'y rapportant; nous nous en tiendrons donc à des résultats représentatifs.

3.1 Criteres de distinction

Dans l'analyse qui va suivre, nous recourrons à trois critères pour faire la distinction entre les systèmes spatiaux à fins militaires et ceux à fins non militaires :

- les capacités critiques[3],
- les systèmes de soutien,
- les caractéristiques observables.

À l'aide de ces critères, il est possible de repérer des ressemblances entre des éléments figurant dans les deux listes. Si un système à fins non militaires et un engin à fins militaires partagent ne serait-ce qu'un critère, nous estimerons qu'ils ont un caractère ambigu.

Parmi les *systèmes de soutien* qui, selon nous, revêtent une importance critique, citons les suivants : production/entreposage d'antimatière, propulseurs de matériaux spatiaux, réacteurs nucléaires, moteurs-fusées à impulsions nucléaires, moteurs-fusées à antimatière, miroirs à grande ouverture, moteurs-fusées à ions, lasers grande puissance à grande ouverture ou accélérateurs de particules.
Les *caractéristiques observables* sont pour la plupart des éléments visibles[4] : gros groupe propulseur, gros réservoirs de carburant/comburant, structure longue et effilée, appareils optiques à grande ouverture, émissions radioactives ou grandes constellations.

D'après l'analyse qui précède, nous estimons que douze systèmes spatiaux présentent un caractère ambigu, et nous nous arrêterons brièvement sur chacun d'eux dans le reste du chapitre.

3.2 Cailloux futés : défenses contre les missiles balistiques ou systèmes Asat ?

Les cailloux futés sont catégorisés comme étant des armes de défense contre des objectifs sous-orbitaux (missiles balistiques), dans le cadre de l'IDS; en vertu de la définition étroite employée ici, ce ne sont donc pas des «armes spatiales». Cependant, ils sont en fait conçus pour attaquer non seulement les lanceurs des missiles balistiques, mais aussi le bus emporté par les lanceurs, au cas où ils ne pourraient détruire ces derniers avant l'épuisement du carburant. Les cailloux futés ont donc la capacité inhérente d'attaquer la plupart des satellites; par conséquent, cette «arme antimissile balistique» pourrait facilement servir d'engin Asat.

Les cailloux futés sont particulièrement dangereux en tant qu'armes spatiales, car ils possèdent assez de carburant pour attaquer tous les satellites de la Terre, peu importe la hauteur de leur orbite. Ce serait la première arme Asat capable de menacer les satellites géostationnaires.

Autre caractéristique importante, l'utilisation économique de ces engins. On envisage d'en lancer 4 164 au cours de la première étape. Le budget de mise au point atteint les centaines de millions de dollars, et les essais sur orbite contre des véhicules cibles doivent avoir lieu à la fin de 1991, ce qui permet d'envisager un déploiement d'ici trois ans. Dotés d'un tel système, les États-Unis seraient à même de désemparer tous les satellites actuellement opérationnels autour de la Terre et ils auraient en réserve des moyens suffisants pour interdire aux autres pays de lancer quoi que ce soit dans l'espace.

Dans le cas des cailloux futés, les principaux éléments d'«ambiguïté» sont les suivants : les caractéristiques observables d'une grande constellation (système très efficace comme arme Asat d'appoint en cas de première frappe) et de très gros

réservoirs de carburant/comburant (ce qui permet de menacer tous les satellites de la Terre), et les capacités critiques de pistage, d'interception, de communication et de contrôle.

3.3 Qu'entend-on au juste par «émissions radioactives» ?

Si l'on détecte des émissions radioactives (caractéristique observable), comment savoir si elles proviennent d'un réacteur nucléaire spatial à buts pacifiques ou de bombes nucléaires en orbite ? Et comment faire la distinction entre, d'une part, un accélérateur de particules déployé dans l'espace à des fins de recherche en physique, ou l'emploi d'antimatière dans un système de propulsion spatial non guerrier et, d'autre part, l'utilisation d'antimatière dans des armes spatiales ? Toutes ces opérations peuvent engendrer des émissions radioactives.

3.4 Satellite à énergie solaire ou arme hyperfréquence ?

Les satellites à énergie solaire constitueraient une arme à énergie dirigée efficace contre d'autres satellites, en les atteignant de faisceaux intenses de micro-ondes, en en surchargeant les récepteurs, ou les soumettant à des surcharges thermiques. Tant ces satellites que les armes hyperfréquence possèdent des sources de haute puissance, la capacité critique de pister et les moyens voulus de focaliser un faisceau très puissant de micro-ondes.

3.5 Propulseurs de matériaux lunaires : transporteurs de matériaux ou catapultes de bombardement ?

On pourrait confondre un propulseur de masses lunaires, qui servirait à mettre du minerai en orbite à des fins de traitement, avec une catapulte lunaire de bombardement. Les deux engins affichent une structure longue et effilée (l'accélérateur), ils recourent à la technologie des propulseurs de masses et ils emploient de gros systèmes très puissants de transmission d'énergie. En théorie, donc, un propulseur de masses lunaires pourrait servir d'engin de bombardement.

3.6 Appareils optiques à grande ouverture : télescopes astronomiques ou lasers spatiaux ?

Un gros télescope astronomique mis en orbite pourrait être confondu avec un laser d'arme spatiale ou avec le système de visée d'une arme. Dans les trois cas, il faut des miroirs à grande ouverture. Même si l'on ne versait pas dans une telle confusion, la recherche sur les grands réflecteurs pour appareils orbitaux d'astronomie pourrait aider à la mise au point de composantes optiques d'armes spatiales opérationnelles. De tout temps, cependant, c'est plutôt l'inverse qui s'est

produit : on dit, par exemple, que le plus récent appareil optique civil à être déployé dans l'espace (le télescope Hubble) met à profit des techniques d'optique militaires se rapportant à la surveillance.

3.7 L'observation de la Terre : des moyens de vérification ou des systèmes de pistage des armes ?

Il serait possible de confondre les satellites civils d'observation de la Terre et les satellites militaires de surveillance à fins non militaires avec les dispositifs de «pistage» des systèmes d'armement spatiaux. Les uns et les autres recourent à des appareils d'optique à grande ouverture et à de grands miroirs, et ils possèdent la capacité critique de poursuivre les objectifs avec une extrême précision.

3.8 Les faisceaux de particules : des moteurs-fusées à ions ou des armes à faisceaux de particules neutres ?

On pourrait prendre des satellites munis de moteurs-fusées à ions pour des engins utilisant des faisceaux de particules neutres. Dans les deux cas, certaines techniques sont employées : une source d'énergie très puissante, et un dispositif d'accélération et de neutralisation des ions. On ne saurait, cependant, confondre une arme opérationnelle à faisceau de particules neutres et un moteur à ions, car ce dernier n'est pas censé permettre le pointage ou la focalisation.

3.9 L'accélération des particules : recherches en physique ou recherches sur des armes à faisceaux de particules ?

Les accélérateurs spatiaux de particules employés par les physiciens évoqueraient beaucoup les techniques appliquées pour mettre au point des armes à faisceau de particules neutres ou à antimatière. Les appareils d'accélération se ressemblent beaucoup dans ces trois cas. On pourrait aussi prendre pour une arme opérationnelle un accélérateur de particules placé sur orbite à des fins de recherches en physique, vu que les deux afficheraient une structure longue et effilée, posséderaient une puissante source d'énergie et produiraient sans doute des émissions radioactives.

3.10 Les constellations de microsatellites : des appareils non guerriers ou des cailloux futés ?

Face à une grande constellation de microsatellites, on pourrait se méprendre et y voir une constellation d'armes. Une constellation de cailloux futés donnerait sans doute de bons résultats si l'on y recourait pour faire échouer une première frappe ennemie massive avec ICBM.

Les techniques de mise au point des microsatellites s'apparentent aussi à celles que suppose la conception des projectiles intelligents ou des cailloux futés. On risquerait de confondre les lanceurs de micro-engins spatiaux (par exemple, des lanceurs à laser, ou des propulseurs de masses) avec les dispositifs employés pour lancer les cailloux futés, les mines spatiales montées sur microsatellites ou les satellites saboteurs.

3.11 Les lasers orbitaux : des appareils de communications ou des armes à faisceaux ?

Devant un gros laser orbital de communications (employé, par exemple, pour communiquer avec le *Thousand Astronomical Unit* dont le *Jet Propulsion Laboratory* propose la création), on pourrait penser voir soit une station de combat opérationnelle au laser ou un système devant fonctionner de concert avec une arme spatiale laser. Un balayeur laser de débris orbitaux pourrait lui aussi être confondu avec une arme, bien qu'il n'aurait sans doute pas la capacité de focalisation d'une arme; on pourrait malgré tout en déduire qu'il représente une étape dans la mise au point d'armes spatiales laser.

3.12 Les satellites munis de télérobots : réparation de satellites ou sabotage ?

Les satellites saboteurs et les véhicules de transfert orbital munis de télérobots se ressemblent beaucoup. En fait, les mêmes véhicules pourraient servir à des fins strictement pacifiques ou en tant qu'armes de sabotage.

3.13 Constellations de satellites : balayeurs de débris ou mines spatiales ?

On pourrait confondre une constellation de satellites ramasseurs de débris (balayeurs de débris orbitaux, par exemple) et une constellation d'armes spatiales (par exemple, des mines spatiales). Ce sont en effet deux constellations.

Chapitre 4 : Dissiper l'ambiguïté

Nous nous concentrons ici sur les armes spatiales (des satellites en orbite susceptibles de servir directement d'armes espace-espace ou espace-sol). Les objets sous-orbitaux (les ICBM et les Asat lancés d'un avion, par exemple) sont exclus. En outre, les opérations et systèmes spatiaux dont nous allons parler se situent dans un avenir prévisible (moins de dix ans). Nous ne nous arrêtons pas à ceux, plus exotiques, qui pourraient se concrétiser dans un avenir plus lointain (des systèmes lunaires, par exemple).

4.1 Repérer les ambiguïtés

L'intention et le but de l'opération spatiale, compte tenu de l'information connue, constituent les éléments clés pour quiconque veut statuer sur le degré d'ambiguïté de l'opération. Faute de traité ou d'accord sur l'utilisation de l'espace et faute de mécanismes de vérification connexes, seul le pays qui mène l'opération en connaît l'objet exact. Dans un contexte de concurrence militaire (la course à la prédominance), quiconque cherchera à deviner l'intention de son adversaire aura tendance à imaginer le pire. S'il existe un traité sur l'utilisation de l'espace et que l'objet de l'opération a été révélé mais non vérifié, la question de l'honnêteté se pose, ce qui risque d'engendrer le doute.

Le contrôle des opérations spatiales par des moyens conventionnels ne suffira pas souvent pour élucider pleinement certains détails clés et, partant, pour définir la véritable mission du satellite. Le Tableau 5 montre une liste d'opérations ambiguës détectables. Dans chaque cas, une double interprétation (fins militaires et non guerriers) est possible. Prenons, par exemple, le premier élément de la liste : poursuite de satellites, ou rendez-vous entre satellites, ou les deux. Il pourrait

Tableau 5

Opérations spatiales ambiguës détectables

- **Poursuite de satellites, ou rendez-vous entre satellites, ou les deux**
- **Déploiement de grandes structures spatiales**
- **Éclatement ou fragmentation d'un satellite**
- **Émissions ou débris radioactifs**
- **Manœuvres orbitales excessives d'un satellite non habité**
- **Transmissions haute puissance de radiofréquences**
- **Interception d'un satellite au cours d'un passage à proximité**
- **Explosions (surtout nucléaires)**
- **Déploiement d'une constellation**
- **Faisceaux de particules**
- **Satellite sans rôle apparent**
- **Émissions lasers**

s'agir d'opérations à buts pacifiques (réapprovisionnement d'un satellite, ou transfert de personnel, ou entretien d'un satellite par des techniciens ou par télérobots), ou bien d'essais d'armes ou d'opérations telles que l'acquisition d'objectifs en fonction de la portée d'une arme donnée.

Dans certains cas, il est possible, moyennant un minimum d'informations élémentaires (grâce à un contrôle unilatéral), de dissiper toute ambiguïté au sujet d'une opération spatiale et d'établir à tout le moins que, de par sa nature même, l'opération n'a pas de but hostile. Faute de connaissances plus directes sur le matériel employé dans une telle opération spatiale, il est difficile, voire impossible, d'écarter la possibilité qu'il s'agisse bel et bien de recherches ou de déploiements à fins militaires.

4.2 Dissiper l'ambiguïté

C'est à cet égard que les traités et accords internationaux peuvent jouer un rôle clé. Une entente des Nations Unies, à savoir la *Convention de 1975 sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique*, oblige les États signataires à tenir des registres nationaux sur les objets qu'ils mettent sur orbite et qu'ils lancent dans l'espace par ailleurs. L'information ainsi recueillie est remise au Secrétaire général, qui dresse ensuite un registre international. Les États sont tenus de fournir des détails tels que la date et le lieu du lancement, l'organisme qui a procédé au lancement, une description de l'objet, les paramètres fondamentaux de l'orbite et le rôle général de l'objet.

La *Convention sur l'immatriculation* a notamment pour but de renforcer la *Convention de 1972 sur la responsabilité* qui, relativement à l'espace extra-atmosphérique, impute au pays qui possède l'objet la responsabilité des dommages que ce dernier pourrait causer. La *Convention sur l'enregistrement* comporte des lacunes; disons en particulier qu'elle pourrait exiger une description plus précise du rôle du véhicule spatial et imposer un échéancier fixe pour la notification.

Un échange plus vaste d'informations sur les satellites donnerait sensiblement plus de force à n'importe quel traité sur les armes spatiales. La transparence et la divulgation en temps opportun en seraient les objets essentiels. Il conviendrait donc de remédier aux lacunes déjà mentionnées de la *Convention sur l'enregistrement* soit en adoptant une convention améliorée ou un accord distinct, soit en intégrant au traité pertinent sur les armes spatiales des clauses sur les échanges de données. Il conviendrait de demander une description plus précise du rôle du véhicule spatial et de faire connaître d'avance les paramètres orbitaux. Par exemple, on pourrait exiger d'annoncer, avant le lancement, le calendrier prévu de la mission.

Ces améliorations constituent des préalables parallèles, intégraux et pratiques, de toute procédure de vérification sur place ou en orbite. Ainsi, pour vérifier la charge utile d'un satellite n'étant pas un système d'arme illégal, il faut vérifier tant ce que la charge utile n'est pas que ce qu'elle est censée être.

La divulgation, avant le lancement, des paramètres orbitaux du véhicule spatial favoriserait la gestion de tout traité sur l'établissement de zones interdites. Elle permettrait en effet aux États signataires d'évaluer d'avance l'orbite du nouveau satellite quant aux violations possibles des zones interdites et d'amorcer une procédure de grief, le cas échéant.

En améliorant les consignes internationales d'enregistrement et d'autorisation et, plus particulièrement, en attribuant ouvertement un rôle aux satellites en orbite, on s'attaquerait à la question des opérations spatiales ambiguës. Si les caractéristiques observables et le fonctionnement d'un satellite correspondent au rôle annoncé, il y a lieu d'accorder foi aux renseignements communiqués. Seuls des échanges complets de données et l'adoption de méthodes de vérification directe permettront de réduire les risques qu'un pays essaie de faire passer un système d'arme spatial illégal pour un satellite à buts pacifiques.

PARTIE II : ANALYSE DE L'ENDOMMAGEMENT DES SATELLITES

Chapitre 5 : Modes d'endommagement

Il est beaucoup trop simpliste de dire qu'un satellite est «bon» ou «mauvais», ou «dangereux» ou «inoffensif». Il suffit de se rappeler la vaste gamme d'opérations spatiales possibles énumérées dans la Partie I pour constater qu'un satellite possède, tout au moins en théorie, les moyens d'en endommager un autre de très nombreuses façons. Dans le présent chapitre, nous examinerons d'assez près ces modes ou méthodes d'endommagement.

Un véhicule spatial moderne est une merveille technique. Sa structure compacte abrite toute une panoplie de sous-systèmes ultraperfectionnés, chacun fonctionnant de pair avec les autres en vertu de règles complexes et fiables pour garantir le succès de la mission de l'engin, laquelle dure normalement plusieurs années. Ces sous-systèmes sont nombreux et présentent des caractéristiques variées, et ils déterminent les dégâts potentiels qu'un satellite peut infliger à un autre.

5.1 Catégories de modes d'endommagement

Le nombre de modèles possibles de véhicules spatiaux, la variété actuelle des missions, et la gamme des altitudes et des inclinaisons des orbites, voilà autant d'éléments qui compliquent effectivement beaucoup la tâche de quiconque veut coter un véhicule donné quant à sa «dangerosité» (ou lui attribuer, comme nous le dirons ci-après, un «indice d'endommagement»). Seule une méthodologie[5] élaborée avec soin permet d'exécuter une telle analyse. Le présent chapitre nous fait franchir la première étape du cheminement à faire à cet égard : définir les *modes d'endommagement*.

Un véhicule spatial recourt à des moyens bien définis pour causer des dommages bien particuliers. Certains engins disposent de quelques modes d'endommagement seulement, contrairement à d'autres qui en appliquent un grand nombre, répartis en cinq grandes *catégories* :

Énergie cinétique	*C*
Énergie dirigée	*D*
Énergie nucléaire	*N*
Interférence électronique/optique	*I*
Sabotage	*S.*

Il n'est pas surprenant que les modes d'endommagement appartenant à une catégorie donnée possèdent en commun des caractéristiques fondamentales, plus particulièrement la manière dont le «satellite cible» (la *cible*) est endommagé. Voir le Tableau 6.

Tableau 6

Catégories de modes d'endommagemer

Énergie cinétique :	Dépôt d'un flux d'énergie.
Énergie dirigée :	Dépôt d'un flux d'énergie (dans la plupart des cas); dépôt de rayons pénétrants (dans certains cas).
Énergie nucléaire :	Dépôt d'un flux d'énergie (dans la plupart des cas); dépôt de rayons pénétrants (dans certains cas).
Interférence électronique/ optique :	Dommages causés par la cible elle-même, après que ses capteurs ou ses systèmes de commande ont été brouillés, trompés, bloqués ou asservis.
Sabotage :	Dommages, vandalisme ou sabotage, habituellement après l'établissement du contact.

Le Tableau 7 contient la liste de vingt-neuf modes d'endommagement. Bien qu'il ne s'agisse pas là d'une liste complète, on peut raisonnablement affirmer que tout autre mode serait fort inusité et «spécialisé».

Tableau 7

Les vingt-neuf modes d'endommagemer étudiés

Énergie cinétique :	**4**	Emboutir, abattre, miner, torpiller.
Énergie dirigée :	**7**	Aveugler, donner un choc, attaquer avec un faisceau, chauffer, surcharger, faire sauter, irradier.
Énergie nucléaire :	**4**	Soumettre à des impulsions, faire sauter, irradier, chauffer.
Interférence É/O :	**4**	Bloquer, brouiller, tromper, assujettir.
Sabotage :	**10**	Briser, enduire d'un revêtement ou de particules atomisées, incendier, voiler, gazer, soumettre à des chocs, saisir, miner, masquer.

5.2 Modes d'endommagement à l'énergie cinétique

Nous décrirons maintenant brièvement les quatre modes d'endommagement faisant appel à l'énergie cinétique. Dans les paragraphes qui vont suivre, les expressions abrégées «l'agresseur» et «la cible» désignent respectivement «le satellite qui représente la menace» et «le satellite cible». Signalons que, dans tous ces modes d'endommagement, il y a dépôt d'un flux d'énergie.

Emboutir (C1) : L'agresseur entre en collision avec la cible à une grande vitesse; l'impact cause les dommages.

Abattre (C2) : L'agresseur dirige vers la cible un ou plusieurs projectiles passifs (balles, masse propulsée, décharges électromagnétiques, etc.); l'impact cause les dommages.

Miner (C3) : L'agresseur emporte une charge explosive et la fait éclater de manière que les éclats atteignent la cible; l'impact cause les dommages.

Torpiller (C4) : L'agresseur largue des sous-satellites autonomes à vitesse relative lente, qui recourent aux modes d'endommagement C1, C2 ou C3.

5.3 Modes d'endommagement faisant appel à l'énergie dirigée

Nous pouvons citer sept façons de causer des dommages avec de l'énergie dirigée. En bref, ce sont les suivantes :

Emboutir (D1) : L'agresseur dirige un faisceau concentré de lumière vers la cible, en endommageant ainsi les composantes photosensibles.

Appliquer un choc (D2) : L'agresseur assujettit la cible à un champ électrique différentiel au moyen d'un faisceau d'électrons ou d'ions, ce qui endommage la cible par décharges électriques.

Attaquer avec un faisceau (D3) : L'agresseur dépose de l'énergie sur la cible avec un rayon laser ou un faisceau d'ions ou de particules, ou en réfléchissant sur elle la lumière solaire, ou encore en recourant à d'autres rayons non pénétrants, avec une intensité suffisante pour surchauffer la cible.

Chauffer (D4) : L'agresseur dirige des rayons chauffants sur la cible, ce qui en endommage les composantes thermosensibles.

Surcharger (D5) : L'agresseur dépose une énergie électromagnétique excessive dans un récepteur EM de la cible, ce qui l'endommage.

Faire sauter (D6) : L'agresseur dépose de l'énergie sur la cible avec un rayon laser, un faisceau d'ions ou de particules, etc., d'une très forte intensité; l'onde de choc mécanique en résultant cause des dommages structuraux à la cible.

Irradier (D7) : L'agresseur dirige un faisceau de rayons pénétrants sur la cible, ce qui en endommage les délicates composantes électroniques ou autres.

5.4 Modes d'endommagement avec énergie nucléaire

Dans cette catégorie, on peut inclure quatre modes d'endommagement. En voici une brève description :

Produire une impulsion (N1) : L'agresseur crée une impulsion électromagnétique (IEM) en faisant exploser un engin nucléaire; le champ de potentiel électrique transitoire qui en résulte endommage la cible.

Explosion (N2) : L'agresseur fait exploser un engin nucléaire pour endommager la cible via l'onde de choc qui en résulte.

Irradier (N3) : L'agresseur fait exploser un engin nucléaire, dont les rayons nucléaires (rayons alpha, bêta et gamma, et neutrons) endommagent la cible.

Chauffer (N4) : L'agresseur fait exploser un engin nucléaire, et l'onde de chaleur endommage la cible.

5.5 Modes d'endommagement par interférence électronique/optique

Il est possible de désigner quatre modes d'endommagement dans cette catégorie. Nous en donnons une brève description ci-après :

Bloquer (I1) : L'agresseur obstrue physiquement la ligne de visée entre la cible et ceux qui la manœuvrent, ce qui gêne les communications entre elle et eux.

Brouiller (I2) : L'agresseur brouille la liaison hertzienne sol-satellite cible en émettant du bruit sur la longueur d'onde appropriée dans le spectre électromagnétique.

Tromper (I3) : L'agresseur trompe la cible en émettant de faux signaux en direction des capteurs de cette dernière, afin de l'amener à se comporter d'une manière ne convenant pas à ceux qui la manœuvrent.

Assujettir (I4) : L'agresseur se rend maître de la cible en en envahissant les canaux de commandement et en se substituant à ceux qui la manœuvrent.

5.6 Modes d'endommagement par sabotage

Enfin, il existe dix principaux moyens de sabotage, dont nous donnons une description sommaire ci-après :

Briser (S1) : L'agresseur s'approche de la cible et, par télémanipulation, l'endommage (par exemple, couper des fils).

Enduire d'un revêtement (S2) : Le satellite agresseur enduit la surface de la cible d'un produit quelconque qui en masque les capteurs.

Vaporiser (S3) : Le satellite agresseur vaporise sur la cible une substance absorbant la chaleur, réfléchissante, corrosive, conductrice ou autrement dommageable.

Brûler (S4) : L'agresseur allume son propulseur ou un appareil semblable, de manière que le jet de chaleur touche la cible pour l'endommager ou en gêner le fonctionnement.

Faire ombrage (S5) : Le satellite agresseur bloque littéralement la ligne de visée entre la cible et un autre point dans l'espace vers lequel la cible doit être tournée, ce qui en gêne le fonctionnement.

Gazer (S6) : L'agresseur laisse échapper un nuage gazeux qui endommage la cible.

Donner un choc (S7) : L'agresseur assujettit la cible à une différence de potentiel électrique en appliquant un courant direct; la décharge électrique endommage la cible.

Manipuler (S8) : L'agresseur s'approche de la cible, la saisit, puis en modifie l'attitude ou l'orbite de manière à en gêner le fonctionnement.

Fixer une mine-ventouse (S9) : L'agresseur fixe un engin explosif à la cible, en vue de la faire exploser plus tard.

Masquer (S10) : L'agresseur brouille les communications entre la cible et la Terre, en s'en approchant puis en transmettant sur la fréquence qu'elle utilisait pour ses communications; ces personnes ne peuvent dès lors obtenir l'information sur laquelle elles comptaient.

5.7 Recapitulation

La longue liste de «modes d'endommagement» donnée dans les pages précédentes montre très clairement qu'il n'est pas possible de répondre simplement et directement à la question générale de savoir comment un satellite peut en endommager un autre. La complexité du problème nous oblige à adopter une méthodologie soigneusement élaborée.

Nous aurions pu présenter dès le début la méthodologie proposée dans le prochain chapitre, mais il valait mieux mesurer tout d'abord l'ampleur du problème. Ainsi, bien que l'exposé le plus logique puisse se confiner strictement à la déduction et à l'analyse, l'argumentation la plus compréhensible aura plutôt recours à l'induction et à la synthèse. Nous avons opté pour une solution de compromis : nous présenterons la méthodologie sous-jacente non pas au début (les motifs manqueraient), ni à la fin (on aurait alors perdu de vue les jalons qu'elle comporterait), mais maintenant, dans le chapitre suivant.

Chapitre 6 : Analyse des dommages causés à un satellite par un autre (dommages intersatellites)

Les modes d'endommagement intersatellites décrits dans le chapitre précédent définissent le cadre d'une analyse en cette matière. Le processus d'analyse compte deux grands niveaux, comme le montre la Figure 1. Le niveau A (analyse des façons dont un satellite donné peut infliger des dommages) a fait l'objet du chapitre précédent. Au niveau B, lequel sera traité dans le présent chapitre, nous analysons chaque mode en détail : les paramètres, les caractéristiques et les capacités critiques (expressions que nous définirons précisément dans un moment) propres à chaque mode sont circonscrits avec rigueur.

L'élaboration de la méthodologie repose par ailleurs sur deux thèmes généraux :

a) Autant que possible, il convient de définir les propriétés d'un mode d'endommagement d'une manière qui les rend, en principe, vérifiables.

b) Autant que possible, il y a lieu de définir les propriétés d'un mode d'endommagement d'une manière qui les rend, en principe, quantifiables et mesurables.

Les motifs de ces deux énoncés se passent d'explication : dans la mesure où les propriétés sont quantifiables et mesurables, on peut recourir à une analyse mathématique plus précise pour évaluer les dommages intersatellites potentiels. Quant à la capacité de vérifier, elle est dictée par la maxime bien connue «Fais confiance, mais vérifie tout de même!».

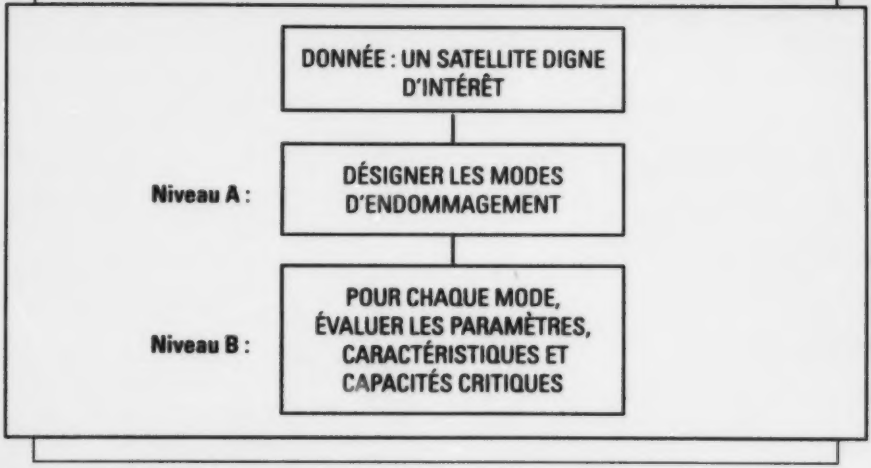
6.1 Paramètres des modes d'endommagement

Chaque fois qu'une caractéristique d'un mode d'endommagement sera *quantifiable* (en d'autres mots, quand il sera possible d'y faire correspondre un chiffre ou un ensemble de chiffres), nous dirons qu'il s'agit d'un *paramètre*. C'est là une situation idéale, car si l'on peut caractériser totalement un mode avec des paramètres, on peut en discuter dans un contexte quantitatif et mathématique, plutôt que qualitatif seulement.

Il est possible, dès lors, d'évaluer quantitativement (et, partant, définitivement) l'importance relative de plusieurs paramètres caractérisant un mode d'endommagement particulier. Si nous revenons au niveau A (voir la Figure 1), nous pouvons comparer, quantitativement, l'importance relative de divers modes d'endommagement propres à un satellite donné.

Enfin, et ce n'est pas là l'aspect le moins important, il est possible de mettre en œuvre le processus de vérification (Chapitre 7) en appliquant des protocoles justifiables du point de vue quantitatif. En résumé, nous dirons que les caractéristiques quantifiables d'un mode d'endommagement constituent les *paramètres de ce dernier.*

Figure 1 Methode d'analyse



6.2 Caracteristiques d'un mode d'endommagement

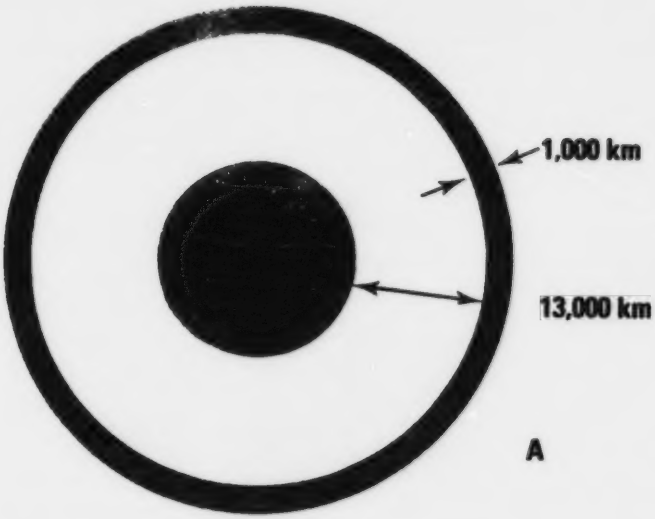
Il est malheureusement impossible de quantifier toutes les caractéristiques des modes d'endommagement sur une échelle numérique continue. Cela dépend surtout de la nature même de la caractéristique. Par exemple, personne ne contestera l'importance, aux fins de l'analyse des modes d'endommagement, de savoir s'il y a à bord un capteur terrestre. Pourtant, il n'est pas possible d'attribuer une valeur quantitative durable à l'existence, ou à l'absence, de cette caractéristique. On ne peut que signaler la présence, ou l'absence, de cet important instrument à bord du satellite étudié. Bref, les aspects non quantifiables des modes d'endommagement seront appelés *caractéristiques.*

6.3 Capacites critiques relatives aux divers modes d'endommagement

En cherchant à désigner les caractéristiques et paramètres importants des modes d'endommagement, nous constatons que certains «groupes» ou «gammes» de paramètres et de caractéristiques réapparaissent encore et encore. En outre, l'observateur en vient à conclure que ce phénomène s'explique par le fait que tel ou tel groupe ou gamme correspond à une *capacité critique*, laquelle confère au satellite «agresseur» la capacité d'en endommager un autre (Tableau 9).

Figure 2 Deux types de zone interdite

CONCEPT TRADITIONNEL

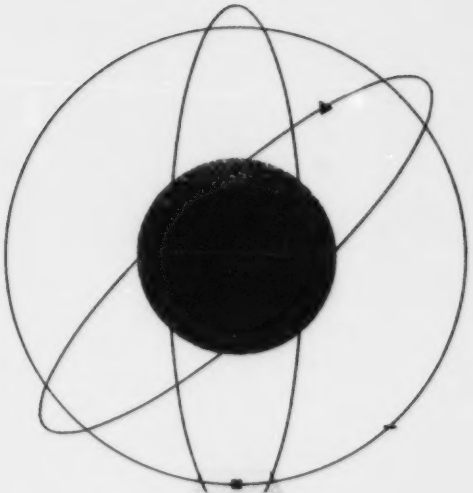


DEUX TYPES DE ZONE INTERDITE

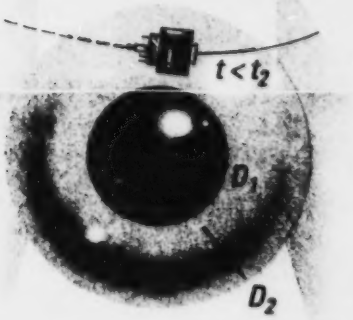
Dans le passé, on a surtout suggéré que les zones interdites reposent sur l'établissement de volumes spatiaux comme les sphères concentriques illustrées en (A); ce sont essentiellement des «clôtures spatiales».

La zone interdite proposée dans le chapitre 11 et illustrée en (B) et (C) implique ici deux conditions : les satellites doivent toujours rester à l'extérieur du rayon minimal d'interdiction (D_1), et ils ne peuvent rester à la distance minimale de passage au voisinage (D_2) pour une période (t) qui excède le temps maximum du survol, ou du passage au voisinage (t_2).

B



C



Chapitre 7 : La vérification

La méthode d'analyse présentée à la Figure 1 non seulement constitue la base qui sert à analyser en détail et avec précision le degré potentiel de dangerosité d'un satellite donné et à dresser la structure du modèle mathématique pour l'estimation quantitative de la dangerosité, mais elle fournit aussi une marche à suivre quant à la façon de vérifier la dangerosité potentielle du satellite. En d'autres termes, si, dans des circonstances idéales, on vérifiait irréfutablement chaque paramètre et caractéristique d'un satellite «agresseur» (et ce, pour chaque mode d'endommagement), alors on disposerait de toutes les données nécessaires pour en analyser la dangerosité potentielle. L'analyse même doit, bien sûr, être digne de foi elle aussi; pareille analyse fait l'objet des chapitres 8 et 9.

7.1 Stratégie générale

Dans le présent chapitre, nous mettrons l'accent sur la vérification[6]. Le Tableau 8 décrit la stratégie générale. Nous avons laissé de côté ici d'autres moyens de vérification (par exemple, l'observation de la surface de la Terre depuis l'espace et l'observation d'un satellite depuis l'espace), mais il ne faut pas en déduire qu'ils ne sont pas importants.

Tableau 8

Stratégie de vérification

En usine :	1. Inspecter et tester les composantes. 2. Observer les essais des composantes et des systèmes. 3. Observer l'intégration et la mise à l'essai du véhicule.
Rampe de lancement :	1. Inspecter le satellite avant le lancement. 2. Tester les liquides/gaz dont on remplit les réservoirs. 3. Observer les opérations de remplissage.
En orbite :	1. Observer (depuis le sol) les opérations de réparation, de vérification et de remise en état faites en orbite. 2. Surveiller l'orbite du satellite. 3. Observer le satellite en orbite.

Les paramètres et les caractéristiques à vérifier sont consignés dans des «fiches d'information» sur les modes d'endommagement. Le Tableau 9 définit les capacités critiques examinées dans la présente étude. Ces dernières ne constituent pas des traits distinctifs qui s'ajoutent aux «paramètres» et aux «caractéristiques», mais elles fournissent d'excellents algorithmes pour regrouper en jeux familiers ces paramètres et caractéristiques.

Tableau 9

Capacités critiques

S'approcher :	Des satellites suivant des orbites semblables peuvent naturellement passer près du véhicule en question. Cependant, s'il s'agit d'un agresseur, il peut modifier son orbite légèrement en allumant brièvement ses fusées, pour s'approcher à environ 100 km de sa cible.
Passage à proximité :	Manœuvre plus précise que l'«approche», mais pas autant que l'«interception». L'agresseur recourt alors à de plus fortes poussées pour s'approcher à 1 km de sa cible.
Intercepter :	Manœuvre plus précise que le survol; elle permet à l'agresseur de s'approcher à quelques mètres de sa cible en faisant fluctuer la poussée de ses fusées et en les orientant. Il lui faut des capteurs et des fusées spéciales.
Rendez-vous :	Manœuvre semblable à l'«interception», sauf qu'il y a une exigence supplémentaire très difficile à remplir : arriver à adopter la même position et la même vitesse que la cible. Au moins deux manœuvres faisant appel aux fusées de poussée sont nécessaires.
Manipulation :	Après le rendez-vous; l'agresseur doit avoir à bord des systèmes de robotique/manipulation et l'énergie voulue pour utiliser un ordinateur, ou de vastes moyens de communications, ou les deux.
Communications :	Il faut des largeurs de bande élevées grâce auxquelles des stations terrestres peuvent intervenir pendant les manœuvres complexes. Il est également essentiel d'avoir un accès continu (de nombreuses stations terrestres ou une constellation de satellites).
Pistage d'attitude :	L'agresseur peut modifier son assiette en fonction de celle de la cible. Il lui faut pour cela d'importants capteurs à l'infrarouge (IR) ou à l'ultraviolet (UV), ou encore des télescopes de pistage. Les dispositifs de pistage peuvent être installés dans un «appendice» distinct.
Contrôle :	Capacité, à bord, de repérer l'orbite de la cible et d'opérer un rendez-vous avec elle. Pour cela, il faut un ordinateur pilote, un logiciel, des capteurs, des actionneurs. Les plus récents ordinateurs offrent de nombreuses possibilités nouvelles.

Trois aspects de la stratégie de vérification (Tableau 8) sont dignes de mention : tout d'abord, elle est organisée en fonction du lieu où la vérification s'effectue; deuxièmement, la nature même du processus fait que les étapes de la vérification se succèdent *grosso modo* selon l'ordre chronologique; et troisièmement, les

Tableau 10

Fiche d'information type sur un mode d'endommagement (Modèle)

Fiche d'information sur un mode d'endommagement

Minage — [C3]

Brève description :
- L'agresseur emporte une charge explosive et la fait éclater de manière que les éclats atteignent la cible.
- L'impact cause les dommages.

Discussion :
Pour arriver à ces fins, il faut habituellement placer le satellite agresseur sur une orbite de quasi-collision avec sa cible. Si cet engin emporte plusieurs mines, il faut veiller à ce qu'il ne touche pas la cible même, de manière à pouvoir la réutiliser. La mine est dangereuse soit à cause de l'énergie cinétique imprimée aux éclats quand elle explose, soit parce que le nuage d'éclats occupe un vaste volume d'espace (par opposition à une attaque quasi ponctuelle). L'intercepteur coorbital russe (c'est une arme Asat), qui existe déjà, illustre bien en quoi consiste ce mode d'endommagement.

Capacités critiques :
√ Précision de l'interception [C3, C4].
√ Vitesse par rapport à la cible, au moment de l'interception [C3, C4].
√ Précision de la visée [C7].
√ Capacité de calculer le point de visée et le moment de la mise à feu de la mine [C6, C8].

Paramètres :
1. Quantité de matière explosive portée par l'agresseur.
2. Nombre prévu d'éclats.
3. Gamme prévue des vitesses atteintes par les éclats.
4. Gamme prévue des masses des éclats.
5. Gamme prévue de l'énergie cinétique des éclats.
6. Gamme prévue des directions prises par les éclats.

Caractéristiques :
1. Existence d'engins explosifs à bord du satellite agresseur.
2. Existence, à bord du satellite agresseur, d'engins producteurs d'éclats — armes s'apparentant à une grenade à main, explosifs enrobés de plombs, etc.

Tableau 11

Liste de vérification (Modèle)

Liste de vérification — Mode d'endommagement

Minage — [C3]

	En usine			Rampe de lancement			En orbite		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PARAMÈTRES									
1	√		√	√	√	√	√		
2	√								
3	√								
4	√								
5	√								
6	√								
CARACTÉRISTIQUES									
1	√	√	√	√			√		
2	√	√	√	√			√		

En résumé, les colo[illegible] aux [illegible] de vérification énumérés au Tableau [illegible] et paramètres particu[illegible] cas qui nous occupe.

méthodes employées aux stades plus avancés du processus tendent à être moins «intrusives» que celles préconisées aux stades antérieurs (les tests sont très intrusifs, les inspections le sont sensiblement moins et la simple observation présente un caractère plutôt passif). Certaines questions non techniques (un pays refuse d'autoriser une inspection, ou le fabricant d'un satellite recourt à la déception, par exemple) ne relèvent pas de la présente étude. Il convient de mentionner, cependant, que le processus de vérification comporte souvent un certain dédoublement, de manière que, s'il n'est pas possible de recourir à un moyen donné ou si l'on veut renforcer la confiance, on puisse employer un autre moyen.

7.2 Liste de vérification — Modes d'endommagement

Nous avons dressé des listes de vérification pour les vingt-neuf modes d'endommagement décrits au chapitre 5, et nous avons pour cela suivi les méthodes énumérées dans le Tableau 8. Les Tableaux 10 et 11 montrent respectivement une fiche d'information type et la liste de vérification correspondante, pour le mode C3 (Minage). En faisant un crochet dans une case donnée, on indique qu'il est possible d'appliquer une méthode particulière (colonne) pour vérifier le paramètre ou la caractéristique dont il est question (rangée). Le «numéro» du paramètre ou de la caractéristique renvoie aux fiches d'information sur les modes d'endommagement, qui sont mentionnées plus haut.

Grâce à ce processus, nous avons donc défini les propriétés ou traits distinctifs de chaque mode d'endommagement, éléments qu'il nous fallait pour quantifier (Chapitre 8) le danger que présente un satellite donné (la dangerosité); nous avons procédé d'une manière qui, en principe, rend vérifiables les propriétés en question et nous avons également établi une procédure utile de vérification.

Chapitre 8 : Indices quantitatifs d'endommagement

Dans le préambule du chapitre 6, nous avons affirmé que deux grands thèmes sous-tendent la méthodologie à employer pour analyser rigoureusement les dommages qu'un satellite peut infliger à un autre. Ces thèmes s'énoncent comme suit :

a) Autant que possible, il convient de définir les propriétés d'un mode d'endommagement d'une manière qui les rend, en principe, vérifiables.

b) Autant que possible, il y a lieu de définir les propriétés d'un mode d'endommagement d'une manière qui les rend, en principe, quantifiables et mesurables.

Nous avons examiné le premier de ces thèmes (la vérifiabilité) dans le chapitre 7. Arrêtons-nous maintenant au second, la «quantifiabilité».

8.1 Indice d'endommagement modal

Chaque mode d'endommagement décrit dans le chapitre 5 possède maintenant une valeur mathématique appelée indice d'endommagement, ou *indice d'endommagement modal*. Autant que possible, nous veillons à ce que ce soit tout simplement un nombre positif. En fait, si un mode d'endommagement était entièrement défini par des paramètres (caractéristiques quantitatives), nous serions à même de fixer un indice complètement quantitatif, mais il ne serait pas nécessairement facile à calculer. Rappelons aussi que, dans tous les cas, les dommages dont il est question ici sont «potentiels» uniquement. Nous nous concentrons sur ce qu'un satellite *peut* faire (une question technique), et non sur ce qu'il *fera* effectivement (aspect qui évoque aussi des questions non techniques).

Il ne convient pas ici d'aborder les complexités analytiques des indices propres aux vingt-neuf modes d'endommagement. Il faudrait malheureusement pour cela des pages et des pages de textes plutôt techniques qui exigeraient du lecteur des connaissances poussées en mathématiques et en physique.

La logique à appliquer est de nouveau celle que présente la Figure 1, mais à l'envers : on établit tout d'abord un indice d'endommagement pour chaque mode, puis on combine l'ensemble des indices ainsi obtenus (voir la prochaine section) pour former un indice d'endommagement global propre au satellite.

Il est cependant possible de tenir une discussion générale sur le concept d'indice d'endommagement modal. Par exemple, l'indice doit posséder des propriétés dont on peut parler en termes génériques. Tout d'abord, disons qu'il doit s'agir d'un scalaire arithmétique : on pourrait employer de nombreux paramètres modaux pour le calculer, mais les dommages attribuables au mode *i* devraient être représentés par un seul chiffre positif, que nous désignerons par le symbole H_i.

En deuxième lieu, comme nous l'avons déjà mentionné, l'indice d'endommagement modal doit être fonction de *caractéristiques et paramètres identifiables*. Troisièmement, il faut *pouvoir le calculer* avec des ordinateurs de pointe. Et enfin, l'indice doit être *sélectif* : il doit uniquement prendre en compte les paramètres en fonction desquels les véritables dommages potentiels changent sensiblement, à mesure que lesdits paramètres changent eux aussi.

8.2 Indice d'endommagement global du satellite

Une fois calculé l'indice d'endommagement H_i de chaque mode d'un satellite donné, il s'agit de combiner tous les indices d'endommagement pour en arriver, si possible, à l'indice d'endommagement global du *satellite*, indice que nous appellerons H_Σ. Des processus d'agrégation légèrement différents correspondent à des définitions un peu différentes de ce qu'est un indice d'endommagement modal, mais on peut tous les représenter par des symboles; par conséquent :

$$H_\Sigma = H_1 \oplus H_2 \oplus H_3 \oplus \ldots \oplus H_N$$

où N est le nombre de modes d'endommagement attribués au satellite et où le symbole $\oplus$ signifie «additionner» au sens général du terme.

Nous ne nous arrêterons pas ici aux détails mathématiques de cette «addition» (il existe, en fait, plusieurs définitions utiles du mot «somme»), mais nous pouvons formuler quelques observations simples et intéressantes, qui donnent une idée de ce en quoi le processus consiste. Si un satellite ne possédait aucun mode d'endommagement (c'est une hypothèse seulement), alors H_Σ serait égal à zéro. S'il n'en possédait qu'un (ce qui est fort improbable) dont l'indice serait H_1, alors H_Σ serait égale à H_1. Quand un satellite dispose d'un nombre N de modes d'endommagement, son indice global est, de toute évidence, plus élevé que l'indice propre à n'importe lequel de ses modes d'endommagement. Autrement dit, $H_\Sigma > H_i$, où i = 1,2,3,...,N.

Avec cette méthode, il est possible de calculer, pour tout satellite présentant de l'intérêt, un indice quantitatif des dommages qu'il peut causer à d'autres satellites.

Chapitre 9 : Calcul automatisé de l'indice d'endommagement Le logiciel HARMDEX

Dans le cadre de la présente étude, nous avons élaboré un logiciel appelé HARMDEX, qui se fonde sur la méthode décrite aux chapitres 5 à 8. Il permet d'évaluer quantitativement la «dangerosité» potentielle d'un satellite, à partir de données de base appropriées. Il est dès lors possible de recourir davantage à l'informatique pour analyser les dommages qu'un satellite peut infliger à d'autres. La codification de Harmdex comprend les vingt-neuf modes d'endommagement des cinq catégories décrites au Tableau 6 : énergie cinétique, énergie dirigée, énergie nucléaire, interférence électronique/optique, et sabotage.

Il n'y a pas lieu ici de décrire le logiciel en détail, mais deux courts exemples suffiront sans doute pour indiquer en gros de quoi il s'agit. Le premier exemple montre comment l'indice d'endommagement d'un satellite peut servir à analyser la menace que représente un élément transformé par inadvertance en «arme». Dans le deuxième cas, plus sinistre, le satellite agresseur est en fait une arme Asat, c'est-à-dire un véhicule que l'on destine intentionnellement à des fins hostiles.

9.1 Premier exemple : un débris menace *Anik*

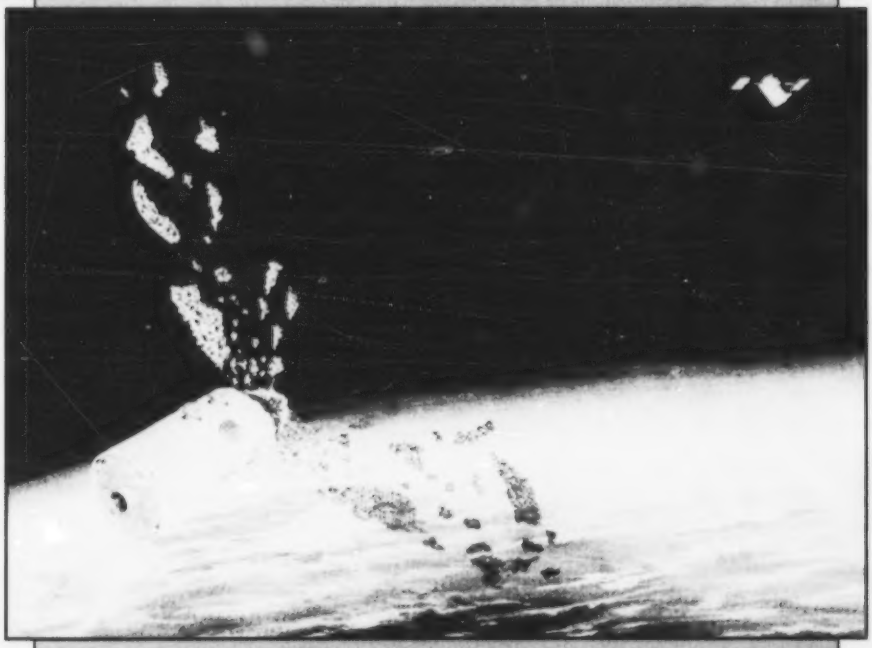
L'analyse des modes d'endommagement révèle que même un satellite dont la mission originale n'était pas de causer des dégâts peut effectivement le faire, par inadvertance. Au cours des dernières années, on est devenu de plus en plus conscient du danger que constituent les débris spatiaux (Figure 2). Mis à part les débris naturels tels que les micrométéorites, ceux qui sont d'origine humaine risquent d'infliger des dégâts considérables par collision à haute vitesse. Une étude[7] récente évoque les dommages ayant été causés à la fenêtre d'une navette spatiale américaine. On pense qu'un petit morceau de peinture blanche mesurant environ 0,2 mm a, par impact, creusé un cratère de 4 mm de diamètre! On estime qu'au moment de la collision, le morceau filait à une vitesse se situant entre 3 et 6 km à la seconde.

Dans l'exemple qui suit, nous examinerons le danger que présente un élément d'apparence inoffensive. Un fragment de débris, pesant 5 g et ayant les propriétés générales d'un morceau de craie, se déplace sur une orbite géostationnaire rétrograde et entre en collision avec *Anik*[8], un des satellites de communications du Canada. Ici, seul le mode [C1], soit *emboutir*, est pertinent.

En vertu d'hypothèses les plus favorables au fragment, le logiciel HARMDEX donne à H_{Σ} une valeur d'environ 5×10^{-5}, ce qui révèle que les dégâts prévus équivalent à 0,005 p. 100 de la valeur critique[9] (ce qui est minime, mais non nul).

Cet exemple peut paraître quelque peu insignifiant dans une discussion sur la «dangerosité» potentielle de satellites réels, et le véritable objet de HARMDEX consiste, bien sûr, à faciliter les calculs relatifs à ces derniers. Cependant, l'exemple montre bien l'utilité du logiciel, même lorsqu'il s'agit de dommages minimes. (Le deuxième exemple nous situera à l'autre extrémité de la gamme des dégâts.) En outre, même si nous avons décrit ici la menace comme étant un petit fragment, la méthode et le logiciel s'appliqueraient de la même façon à un satellite réel «normal» à mission pacifique, tel qu'un satellite de météorologie ou de communications.

Figure 3. Un satellite Asat soviétique



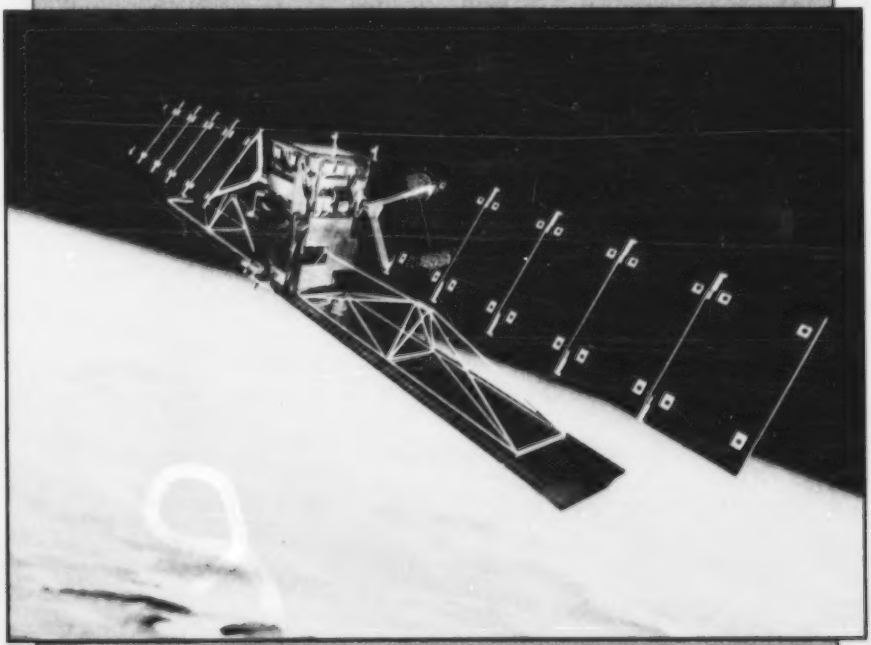
Source : Ministère de la Défense des États-Unis, *Soviet Military Power*, Washington, D.C., mars 1987, p. 52. Reproduction autorisée.

9.2 Deuxième exemple : une Asat menace *Radarsat*

À l'autre extrémité de la gamme des degrés de dangerosité, examinons le cas d'une Asat : un système antisatellite connu, le satellite tueur coorbital soviétique (Figure 3), affronte un gros satellite de surveillance sur orbite basse, tel que le satellite de télédétection *Radarsat*[10] que le Canada envisage de déployer (Figure 4). Dans l'exemple, le principal mode d'endommagement est le *minage* [C3].

L'existence d'Asat soviétiques est connue depuis plusieurs années. La manœuvre consiste soit à opérer un rendez-vous avec la cible, soit à la survoler avec une précision raisonnable et à faire exploser près d'elle une mine conventionnelle. Les éclats créés par l'explosion frappent dès lors la cible et l'endommagent par le biais de l'énergie cinétique qu'ils lui transmettent.

Figure 4 Radarsat — *Un satellite canadien de reconnaissance des ressources de la Terre*



Gracieuseté de l'Agence spatiale canadienne

Nous pouvons esquisser les caractéristiques détaillées de l'Asat à l'aide d'information non confidentielle[11]. Les calculs techniques détaillés effectués dans le cadre de ce projet révèlent que l'antenne de *Radarsat* constitue une grande cible. Si l'on suppose que la distance la plus courte à laquelle l'agresseur peut s'approcher de la cible est de 500 m (les dommages seraient, bien sûr, plus considérables si cette distance était moindre), le logiciel HARMDEX donne une valeur de 1,88 à H_{Σ}, ce qui dépasse le seuil de destruction.

Ces deux petits exemples permettront au lecteur, nous l'espérons, de se faire une idée du type et de l'ampleur des calculs que le logiciel peut effectuer. On peut appliquer HARMDEX de la même manière à n'importe quel autre satellite pour donner une valeur quantitative à sa dangerosité potentielle.

PARTIE III : MESURES DE RENFORCEMENT DE LA CONFIANCE

Chapitre 10 : Distance d'où les dommages sont causés

S'entendre sur une formule pour mesurer la *distance (portée) d'où les dommages sont ou peuvent être causés*, voilà qui présente beaucoup d'attrait! D'autant plus que cette distance, dans le cas d'un satellite, est quantitative et que c'est donc un élément s'inscrivant bien dans le contexte étudié.

En vertu de la méthode d'analyse illustrée plus tôt à la Figure 1, on attribuerait à chaque mode d'endommagement propre à un satellite donné une courbe caractéristique ayant pour paramètre l'endommagement en fonction de la portée. Pour le mode d'endommagement Y d'un satellite X, la courbe indiquerait les dommages (indice d'endommagement quantitatif) que ledit satellite pourrait infliger, en recourant au mode Y, à une cible, depuis une distance donnée (portée).

On pourrait dès lors calculer l'indice global d'endommagement du satellite X, depuis chaque distance précisée, en combinant, comme le prescrit le chapitre 8, la courbe caractéristique «dommages en fonction de la distance» établie pour chacun des modes d'endommagement propres au satellite. Plus particulièrement, nous pourrions appeler *distance de létalité* du satellite X (ou portée fatale) la portée à laquelle l'indice global d'endommagement égale 1,0.

10.1 La manœuvrabilité, aspect critique

On comprend, cela va de soi, que les dommages qu'un satellite peut infliger à un autre dépendront de la distance séparant les deux engins. Les multiples caractéristiques orbitales des satellites viennent cependant compliquer les choses. Ces véhicules spatiaux ne sont pas alignés sur une rangée statique : leurs orbites remplissent un vaste espace sphérique tridimensionnel; ils circulent à diverses altitudes, depuis le voisinage de la Terre jusqu'aux orbites des engins géostationnaires; l'inclinaison des orbites varie elle aussi, allant de zéro (satellites géostationnaires) à quasi polaire (satellites de reconnaissance des ressources de la Terre); si l'excentricité de l'orbite est grande, le satellite peut parfois se rapprocher de nombreux autres véhicules spatiaux circulant à d'autres altitudes. Il est donc difficile

d'attribuer une seule «portée létale» à chacun des milliers de satellites, qui voyagent tous à plus de 1 600 km/h et filent autour de la Terre à diverses altitudes et latitudes et sur des orbites elliptiques fort variées.

La complexité s'accentue encore quand on prend en compte la capacité d'un satellite de modifier son orbite. Si un engin agresseur est manœuvrable, il peut s'approcher davantage de sa cible, augmentant ainsi sa portée létale.

Presque tous les satellites possèdent une certaine manœuvrabilité, pour bien se placer sur leur orbite initiale, amorcer de longues dérives de manière à modifier les paramètres de leur orbite, et maintenir leur position. Cette capacité les rend effectivement plus dangereux. Cependant, on peut raisonnablement affirmer que tout satellite qui possède une capacité de manœuvre *digne de mention* (par exemple, grâce à de gros réservoirs de carburant en orbite) pose, à tout le moins en théorie, un danger pour un grand nombre de systèmes orbitant dans l'espace.

10.2 La portée (distance) létale

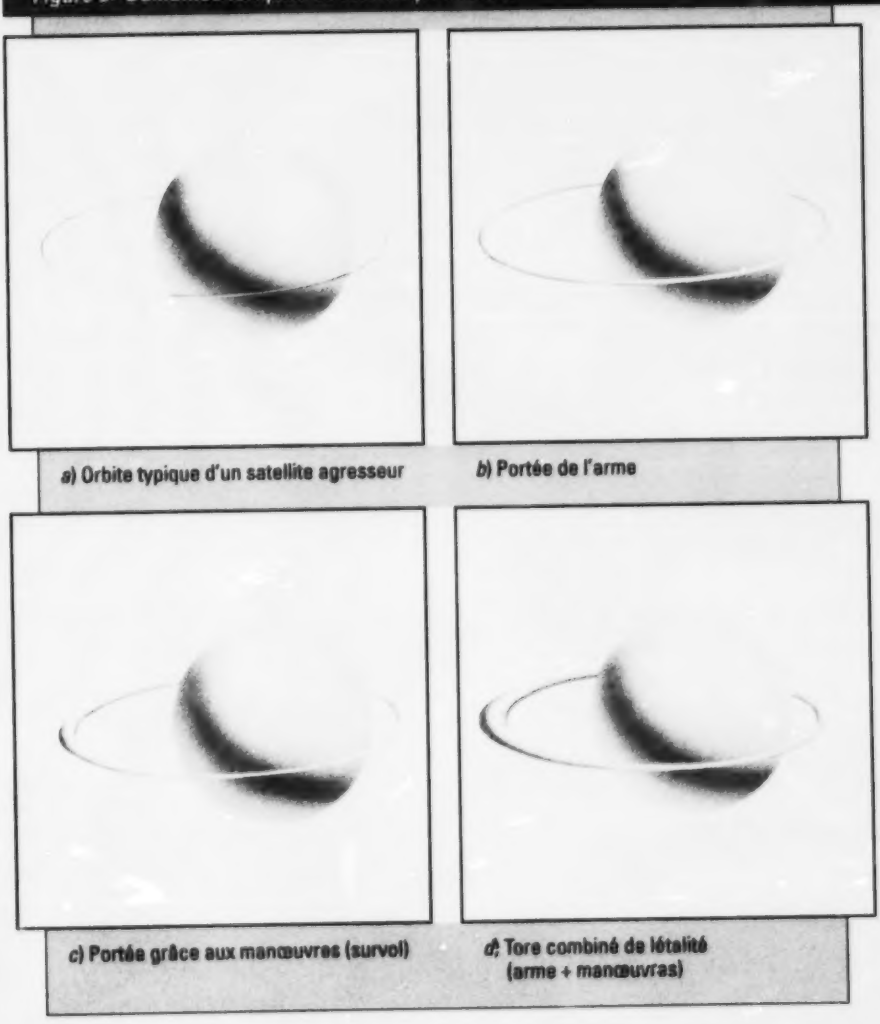
Deux facteurs influent donc sur la portée létale d'un satellite donné : la portée d'où, intrinsèquement, ses modes d'endommagement sont efficaces, et sa manœuvrabilité. Il est possible de combiner ces deux facteurs géométriquement, comme le montre la Figure 5.

Comme l'explique le rapport complet de ce projet, on peut superposer géométriquement les domaines (*grosso modo* toriques) d'endommagement associés à un satellite agresseur donné. Ainsi, à supposer qu'un satellite agresseur muni d'une arme spatiale et possédant une certaine manœuvrabilité circule sur une orbite type (Figure 5*a*), on peut définir deux «domaines de létalité» autour de l'orbite en question : le domaine torique où l'arme est mortelle (Figure 5*b*), et le domaine torique défini par toutes les orbites sur lesquelles le satellite peut se placer en manœuvrant (Figure 5*c*). Si ce dernier manœuvre en premier, puis recourt à son arme, le domaine de létalité s'assimilera au domaine torique illustré à la Figure 5*d*.

Le rayon moyen de ce dernier tore, dont la taille transversale est, en général, une superposition de la portée apparentée intrinsèquement aux modes d'endommagement du satellite et des orbites sur lesquelles il peut se placer en manœuvrant, correspond à une mesure quantitative de sa portée létale. On estime qu'un satellite cible dont l'orbite traverse ce volume torique total se situe dans une zone où le satellite agresseur peut lui porter un coup fatal.

Une distinction importante existe entre ces deux facteurs (portée intrinsèque d'application des modes d'endommagement, et portée nécessitant manœuvre) : il s'agit de l'élément «temps». Si la cible se trouve à portée

Figure 5. Domaines toriques de letalite potentielle



a) Orbite typique d'un satellite agresseur

b) Portée de l'arme

c) Portée grâce aux manœuvres (survol)

d) Tore combiné de létalité (arme + manœuvres)

intrinsèque, l'agresseur peut infliger des dommages relativement rapidement. Toute manœuvre pour se placer à cette portée prendrait du temps. En outre, de tels changements orbitaux, avant l'attaque, seraient observables.

Signalons aussi que tout affrontement dommageable entre un satellite agresseur et un satellite cible *donnés* sera fonction des paramètres et caractéristiques des *deux* engins, et ce, d'une manière égale. Nous avons jusqu'ici mis l'accent sur

les modes d'endommagement, les indices d'endommagement par mode, les indices globaux d'endommagement, la distance d'où les dommages peuvent être causés, les portées létales, etc.; en d'autres mots, nous avons analysé chaque satellite en fonction des *dommages* qu'il peut causer. Il existe un point de vue[12] symétrique mais opposé qui mettrait en lumière, respectivement, les «modes de protection», les «indices de protection par mode», les «indices globaux de protection», les «distances de sécurité», les «portées létales», etc.

Ainsi, l'analyse générique des modes d'endommagement propres aux satellites, dans la Partie II, présupposait explicitement ou non que l'on choisisse un satellite cible «typique» ou «de taille moyenne». De même, l'analyse générique des modes de protection supposerait au départ l'existence d'un satellite agresseur «typique» ou «de taille moyenne».

10.3 Portée de vulnérabilité

En pratique, la portée létale d'un satellite dépendra vraisemblablement et surtout de sa manœuvrabilité[13], laquelle est étroitement liée à sa portée au moment du survol de sa cible. Il est facile de quantifier l'élément «survol» de la portée létale, dans le cas d'un satellite dont on connaît la capacité de manœuvre. La portée létale du mode d'endommagement même est en revanche moins bien définie, du fait qu'elle dépend du blindage de la cible.

Dans tout le rapport, nous fondons notre analyse sur un satellite cible «typique» ou «normal». Il est bien sûr possible que certains satellites soient munis d'un blindage spécial contre les dommages potentiels. Pour prendre cet aspect de l'interaction en compte, nous pourrions définir et quantifier un ensemble de «modes de protection». Nous mesurerions ensuite les risques de dommages intersatellites en combinant tous les indices de mode d'endommagement propres au satellite agresseur et tous les indices de mode de protection relatifs au satellite cible. Dans l'interaction, les modes de protection de ce dernier et les modes d'endommagement de l'agresseur jouent des rôles diamétralement opposés les uns aux autres.

Il est également possible de définir une *distance de vulnérabilité* pour un satellite cible : c'est la valeur-contrepartie de la portée létale d'un satellite agresseur. La distance de vulnérabilité va dépendre des modes de protection du satellite cible, d'une manière tout à fait analogue à la façon dont la portée létale d'un agresseur est fonction de ses modes d'endommagement. Si nous connaissons la distance de vulnérabilité d'un satellite, nous pourrons bien mieux définir une «zone interdite» autour de ce véhicule, et c'est ce sur quoi portera le prochain chapitre.

Chapitre 11 : Les zones interdites

Tournons-nous maintenant vers la question des «zones interdites» visant l'utilisation des véhicules spatiaux et ayant fait l'objet d'accords internationaux. Nous parlerons brièvement de leur utilité et de leurs conséquences sur les plans technique et politique. Un traité sur de telles zones interdites présenterait beaucoup d'attrait, parce qu'il nécessiterait une coopération internationale minimale, que son observation serait extrêmement vérifiable et qu'il offrirait beaucoup de compatibilité avec les accords internationaux existants et les mesures de limitation des armements que l'on prendra dans l'avenir relativement à l'espace.

Un traité sur les zones interdites autour des satellites aurait pour objet de créer, en réglementant l'espace devant séparer les divers satellites les uns des autres, un milieu sûr où les véhicules non menaçants pourraient fonctionner. Les traités de ce genre ne porteraient pas directement sur la question de savoir si tel ou tel véhicule spatial représente, par suite d'une décision délibérée ou autre de ses propriétaires, une menace pour d'autres véhicules spatiaux; ils visent plutôt à réglementer la proximité des satellites les uns par rapport aux autres, de manière à rendre toute attaque difficile ou impossible. Idéalement, de tels traités gêneraient très peu les activités spatiales militaires à buts pacifiques (non menaçantes).

11.1 Caractéristiques souhaitables

Quiconque songerait à formuler un accord sur les zones interdites chercherait à y inclure plusieurs caractéristiques souhaitables (Tableau 12). Il existe déjà quelques accords internationaux sur l'espace. Citons en particulier le *Traité de 1967 sur l'espace extra-atmosphérique*, qui contient un ensemble d'articles libellés en termes assez indéterminés qui portent sur la conduite générale que les pays doivent adopter dans l'espace extra-atmosphérique. Il conviendrait qu'un traité sur les zones interdites aille dans le même sens que ces accords antérieurs.

Le droit international de l'air et de la mer reconnaît aux États des degrés de souveraineté à l'intérieur de limites acceptées tracées autour de leur territoire; en dehors de ces limites, on estime que l'air et la mer font partie du territoire international que n'importe quel pays peut utiliser, sous réserve de certains «règlements raisonnables de la route». À l'heure actuelle, l'espace extra-atmosphérique n'est assujetti à aucune restriction quant aux pays ou groupes pouvant y mener des activités. Les «règlements de la route» n'y sont, en règle générale, pas très bien énoncés, sauf en ce qui concerne le positionnement des satellites de communications sur l'orbite dite «géostationnaire» et les limitations logiques découlant de la *Convention de 1972 sur la responsabilité*. Tout en établissant des règles de conduite,

un traité sur les zones interdites ne doit pas restreindre indûment l'accès à l'espace. Plus particulièrement, il faut veiller à ce que de telles zones n'entravent pas l'utilisation de l'espace à des fins pacifiques (y compris le recours aux «moyens techniques nationaux» qui servent à vérifier l'observation des accords de limitation des armements). Le nouveau traité devra s'appliquer à toutes les formes d'utilisation des satellites; en d'autres mots, il devra, d'une façon ou d'une autre, prendre en compte le fait que les véhicules spatiaux fonctionnent dans un contexte tridimensionnel.

Tableau 12

Caractéristiques souhaitables des zones interdites

- **Peut être définie, résolubilité des dilemmes, vérifiabilité.**
- **Compatibilité avec le droit spatial à venir.**
- **Compatibilité avec le droit spatial existant.**
- **Doit s'appliquer à toutes les activités des satellites.**
- **Doit gêner le moins possible le fonctionnement des satellites militaires non guerriers.**

11.2 Concepts traditionnels — La «clôture spatiale»

Dans la documentation sur les zones interdites, on a dans le passé proposé de définir des volumes d'espace protégés où les satellites d'un pays pourraient circuler. L'intrusion injustifiée dans une telle zone d'un satellite d'un pays hostile serait considérée comme un acte menaçant. Selon une de ces propositions[14], on diviserait l'espace en quelque 360 sphères concentriques de 1 000 km d'épaisseur chacune, à partir d'une altitude de 13 000 km et en allant jusqu'aux orbites lunaires.

Cette notion (illustrée à la Figure 2) est facile à comprendre, mais elle comporte de graves lacunes : elle exclut de nombreuses orbites, dont les orbites basses et les orbites elliptiques; elle viole l'esprit des accords existants sur l'espace; elle comporte en soi le concept de territorialité et elle encourage l'établissement de camps armés dans l'espace.

On a souligné[15] que la création de tels territoires à caractère véritablement souverain dans l'espace contreviendrait aux accords existants, et notamment à l'article II du *Traité de 1967 sur l'espace extra-atmosphérique*, dont le texte se lit comme suit :

> *«L'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes, ne peut faire l'objet d'appropriation nationale par proclamation de souveraineté, ni par voie d'utilisation ou d'occupation, ni par aucun autre moyen.»*

Telle qu'on l'imaginait autrefois, la création de zones interdites risquerait fort d'entraîner une *plus grande* militarisation de l'espace, à mesure que les pays s'efforceraient de surveiller et de défendre leurs «territoires» respectifs dans

l'espace. Les militaires préconisent très souvent la délimitation de volumes d'espace interdit pour protéger les satellites militaires. Ils évoquent en même temps le recours à des contre-mesures antisatellites (anti-antisatellites, ou Dsat) pour défendre activement la zone en attaquant tout véhicule spatial intrus. Ainsi, les notions traditionnelles de zone interdite semblent aller à l'encontre de l'élimination des armes, de la démilitarisation et de l'utilisation de l'espace à des fins pacifiques.

11.3 Une zone interdite dans «l'espace libre»

Il est possible d'instaurer des zones interdites «dans l'espace libre» (concept plus pratique) en se fondant sur la distance d'où des dommages peuvent être causés et sur la portée létale, deux notions que nous avons définies au chapitre 10.

La zone (voir la Figure 2) possède trois paramètres connexes :

D_1 — rayon minimal d'interdiction;

D_2 — distance de passage au voisinage (survol);

t_2 — temps maximum du survol, ou du passage au voisinage.

Ces paramètres dotent d'une valeur quantitative les deux conditions qui donnent tout son sens au concept de zone interdite dans l'espace libre : les satellites doivent toujours rester au-delà du rayon minimal d'interdiction D_1; et ils ne peuvent rester à la distance D_2 (distance minimale de passage au voisinage), ou moins loin, plus longtemps que t_2, c'est-à-dire le temps maximal de passage au voisinage (temps de survol).

Le rayon minimal d'interdiction est fonction de la portée de vulnérabilité; il doit être tel qu'un satellite agresseur type aura du mal à causer des dommages importants à sa cible. Ce rayon ne doit cependant pas être si grand qu'il en devient peu réaliste. Aux fins les plus larges de l'analyse, le rayon d'interdiction dépendrait des deux satellites en présence — en d'autres mots, du satellite agresseur et de sa cible[16].

On reconnaît qu'un satellite doit parfois se rapprocher d'autres véhicules spatiaux; en fixant le temps maximum de survol, on prend cette exigence en compte, mais on limite la durée d'un tel passage et, partant, les occasions de commettre une action hostile : il est fixé de manière à ne pas être suffisant pour permettre à l'agresseur d'acquérir et d'attaquer la cible. Ainsi, ce dernier ne pourrait pas traquer facilement sa cible.

La communication internationale serait essentielle au succès d'un tel système. Mais voyons les avantages qui compensent ce «désavantage» :

a) le système autorise une grande liberté pour mener des activités spatiales à buts pacifiques;

b) il est applicable à tout véhicule spatial en orbite (géostationnaire, basse, elliptique, etc.);

c) il est souple (à chaque satellite correspondrait des paramètres uniques pour la délimitation de la zone interdite);

d) il n'y aurait pas de territoire à défendre;

e) il respecte, voire renforce, le droit spatial existant.

En résumé, la notion proposée ici — établir des zones interdites dans l'espace libre — n'entraîne pas la mise en place de clôtures dans l'espace, ni la création de territoires à défendre. En vertu de ce concept, on établirait plutôt une zone autour de chaque satellite, une zone qui se déplacerait avec *lui* et ne protégerait que *lui*, le bien national, et non l'espace dans lequel il circulerait.

11.4 Estimations préliminaires des paramètres

Les paramètres à adopter pour délimiter les zones interdites feraient l'objet de négociations en vue d'un traité; cependant, nous pouvons ici en donner des valeurs estimatives. Rappelons que chaque satellite peut avoir sa propre zone «définie sur mesure». En pratique, on dirait qu'un satellite donné appartient à l'une des grandes catégories établies, dont le nombre serait limité. Par exemple, ce pourrait être celle des «stations orbitales habitées», pour lesquelles une vaste zone serait tout indiquée, et l'accent serait alors mis sur le rayon minimal d'interdiction D_1.

Les paramètres estimatifs suivants sont raisonnables pour la zone interdite qui entourerait les satellites non habités : D_1, de 5 à 20 km; D_2, de 100 à 500 km; t_2, de 20 à 90 secondes.

Toute stratégie de délimitation d'une zone interdite devrait aussi être facile à appliquer et vérifiable dans les faits. Il devrait exister une démarche simple pour établir s'il y a eu respect ou violation de la zone. Avec les moyens qu'offre la mécanique orbitale, il est possible de définir l'interaction entre deux véhicules spatiaux relativement aux zones interdites dans l'espace libre, dont nous venons de parler.

Chapitre 12 : Surveillance autonome, radiophares de vérification

Dans le présent chapitre, l'expression «zone interdite» (Zint) renvoie exclusivement au concept étudié dans le chapitre précédent et illustré à la Figure 2b et c. Le caractère pratique de la définition compte parmi ses aspects les plus intéressants. Nous nous pencherons maintenant sur deux aspects bien précis de cette utilité pratique, à savoir la surveillance autonome et les radiophares de vérification.

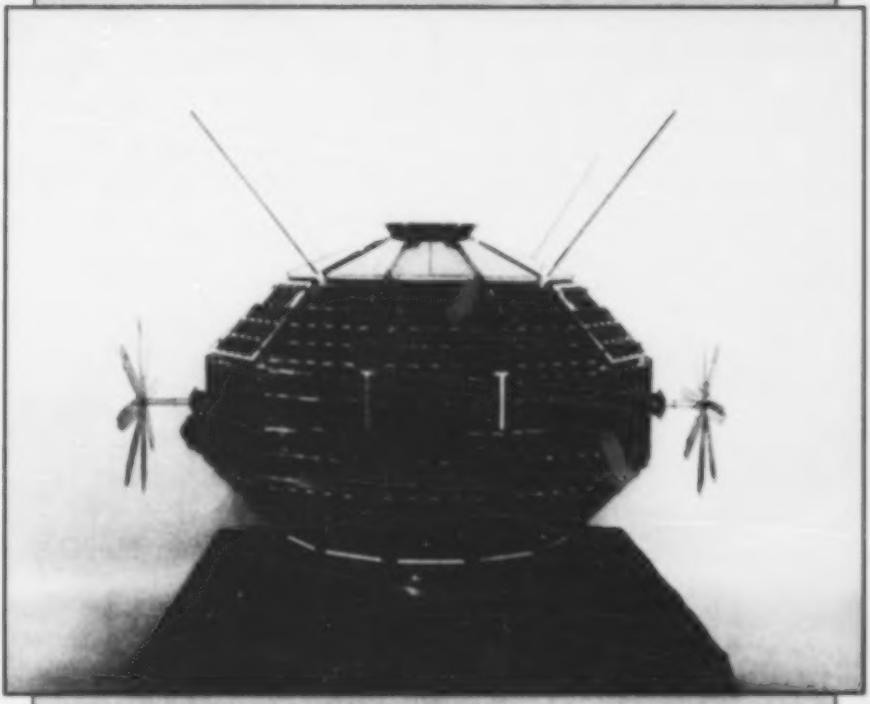
12.1 Surveillance autonome

Le concept des Zint n'est réalisable que si l'on peut vérifier l'observation des accords portant sur lesdites zones. Dans le cadre du présent projet de recherche, nous avons donc élaboré en détail un scénario expérimental axé sur les violations possibles des Zint. Nous avons repéré les violations en utilisant un groupe de 137 satellites «agresseurs» (définis d'après des éléments orbitaux non confidentiels émanant du NORAD) et, comme «cible» le satellite canadien[17] *Alouette I* (voir la Figure 6). Pour déceler les violations, nous avons comparé à une Zint donnée les distances minimales auxquelles les satellites agresseurs s'étaient approchés d'*Alouette I*, et ce, pendant une période d'environ un an.

Quand nous extrapolons sur toute la base de données du NORAD les temps machine observés dans cette expérience, nous constatons qu'en moyenne, vu la longue période choisie, il faudra à un gros ordinateur 3,2 secondes pour simuler les mouvements réels effectués pendant une seconde par les quarante-six millions de paires de satellites agresseurs et cibles. C'est là moins de temps qu'il faut pour les prévisions en temps accéléré; en d'autres mots, il faut calculer les rencontres assez vite pour prédire l'avenir avant qu'il se réalise!

Cette étude informatique préliminaire montre donc que l'on ne peut pour l'instant recourir à cette technique pour produire les simulations en temps accéléré nécessaires afin de prédire les violations des Zint, même si de telles prédictions sont essentielles pour faire du concept des Zint une mesure acceptable de renforcement de la confiance. Cependant, cette entrave va disparaître peu à peu à mesure que de nouvelles générations d'ordinateurs seront mises sur le marché. En outre, à moins qu'on ne la modifie, l'orbite du satellite agresseur demeurera relativement constante pendant des semaines. Par conséquent, on pourra prédire les violations longtemps d'avance. Plusieurs autres méthodes pour réduire le temps machine nécessaire afin de déceler les violations potentielles des Zint sont également prometteuses.

Figure 6 **Alouette I**



Gracieuseté du ministère des Communications

12.2 Radiophares de vérification

Une autre façon de vérifier l'observation des accords sur les Zint consiste à placer des radiophares à bord des véhicules spatiaux. Afin d'examiner cette option, nous avons élaboré un scénario typique de surveillance des Zint faisant appel à des radiophares. Le scénario envisagé comporte cinq éléments :

- un traité;
- une agence de contrôle des satellites;
- des radiophares;
- une ou plusieurs stations de poursuite;
- un centre de commande.

Chaque radiophare du système transmettrait un signal d'identification unique en réponse à une demande émanant d'une station de poursuite. Des radiophares d'une masse inférieure à 10 kg, des besoins en puissance n'atteignant pas 20 watts, et des durées de vie de vingt ans, voilà autant d'objectifs qui semblent réalisables, avec des radiophares à radiofréquences montés sur répondeurs et fonctionnant à environ 1 GHz.

Pareil réseau de radiophares est réalisable du point de vue technique, et l'on pourrait s'en servir pour vérifier l'observation des Zint. Le coût serait élevé, mais les parties aux traités pourraient l'atténuer en utilisant diverses composantes du réseau pour pister les satellites. Il y aurait en outre la possibilité de réaliser des économies d'échelle, du fait que les pays emploieraient des radiophares normalisés au lieu de dispositifs de fabrication nationale. Avec le temps, le réseau de surveillance des Zint pourrait être intégré à un système de contrôle de la circulation dans l'espace.

Chapitre 13 : Réglementer les armes spatiales

Nous avons mené les recherches dont nous faisons état ici parce qu'il nous semblait nécessaire de jeter des bases pratiques et quantitatives en vue de voir s'il est possible de limiter ou de réglementer les armes dans l'espace. Nous avons examiné deux principaux moyens de ce faire :

a) réglementer les véhicules spatiaux, en fonction d'une évaluation rigoureuse de leur dangerosité potentielle;

b) faire respecter les zones interdites, compte tenu de la vulnérabilité du satellite cible.

Dans l'article VI du *Traité de 1967 sur l'espace extra-atmosphérique*, tous les pays menant des opérations dans l'espace conviennent d'*assumer la responsabilité internationale des activités nationales dans l'espace extra-atmosphérique*, y compris celles de toutes les entités non gouvernementales et des organismes internationaux dont ils font partie. Toute entente à venir qui régira les armes dans l'espace sera nécessairement codifiée sous la forme d'un traité entre pays.

13.1 Traités actuels se rapportant à l'espace

Dans l'avenir, les traités sur l'espace devront respecter les critères du droit spatial international existant. Le *Traité sur l'espace extra-atmosphérique* servira de document-cadre pour toutes les ententes internationales sur l'espace. Un certain nombre de traités pertinents sont énumérés au Tableau 13. En les examinant, on constate que le droit spatial actuel n'aborde qu'une seule des nombreuses méthodes avec lesquelles un véhicule spatial peut en endommager un autre (Chapitre 5) : il s'agit des explosions nucléaires dans l'espace. Les traités pertinents, dont l'objet était de ralentir la course aux armes nucléaires sur la Terre, ont touché séparément aux questions des *essais* et du *déploiement* des armes nucléaires dans l'espace, afin d'en entraver respectivement la mise au point et la prolifération. Ces démarches pourraient aussi être appliquées aux armes spatiales non nucléaires.

13.2 Vérification des traités sur les armes spatiales

L'acceptabilité de tout accord de limitation des armements dépend des moyens choisis pour en vérifier l'observation. Nous avons examiné, dans les chapitres précédents, plusieurs techniques qui pourraient servir à vérifier le respect des traités sur les armes spatiales. Elles sont résumées dans le Tableau 14, où un *E* ou un *D* signifie que la méthode se prêterait bien à la vérification d'un *essai* ou d'un *déploiement*, respectivement.

Tableau 13

Aperçu des traités pertinents

Traité sur l'interdiction partielle des essais d'armes nucléaires **(1963) :**	Interdit les explosions nucléaires dans l'espace.
Traité sur l'espace extra-atmosphérique **(1967) :**	Interdit de déployer dans l'espace des armes nucléaires et d'autres armes de destruction massive.
Traité sur les missiles anti-missiles balistiques **(1972) :**	Interdit aux deux superpuissances de mettre au point et à l'essai des systèmes AMB basés dans l'espace.
SALT I **(1972) :**	Interdit aux deux superpuissances de gêner les satellites l'une de l'autre qui servent à la vérification des accords de limitation des armements*.
Convention sur la responsabilité **(1972) :**	Régit la responsabilité des pays relativement aux dommages que leurs véhicules spatiaux pourraient causer.
Convention sur l'immatriculation **(1975) :**	Exige des pays qu'ils avertissent l'ONU quand ils lancent un engin spatial.
Convention sur la modification de l'environnement **(1977) :**	Interdit l'altération délibérée des processus naturels, à des fins hostiles, depuis l'espace.
SALT II **(1979) :**	Interdit le déploiement dans l'espace d'armes nucléaires ou d'autres armes de destruction massive, et toute manœuvre susceptible de gêner le fonctionnement des satellites de vérification.

Tableau 14

Techniques de vérification pertinentes

Surveillance conventionnelle :	***D***
Inspection en usine :	***E, D***
Inspection à la rampe de lancement :	***E, D***
Inspection en orbite :	***D***
Contrôle à bord :	***D***
[illegible] déploiement	

Trois types de traités qui réglementeraient les armes spatiales semblent réalisables, vu les précédents établis par des accords antérieurs de limitation des armements et les techniques de vérification examinées plus haut. Nous en discutons dans les trois dernières sections du présent chapitre.

13.3 Des traités sur la zone interdite autour d'un satellite

L'article III du *Traité sur l'espace extra-atmosphérique* définit un point de départ clair pour l'élaboration de tels accords :

> *«Les activités des États [...] relatives à l'exploration et à l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique [...] doivent s'effectuer [...] en vue de maintenir la paix et la sécurité internationales et de favoriser la coopération et la compréhension internationales.»*

L'article IX prescrit par ailleurs ce qui suit aux pays :

> *«Si un État [...] a lieu de croire qu'une activité ou une expérience envisagée par lui-même ou par ses ressortissants dans l'espace extra-atmosphérique [...] causerait une gêne potentiellement nuisible aux activités d'autres États [...] en matière d'exploration et d'utilisation pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, il devra engager les consultations internationales appropriées avant d'entreprendre ladite activité ou expérience.»*

et aussi :

> *«Tout État partie au Traité ayant lieu de croire qu'une activité [...] envisagée par un autre État [...] dans l'espace extra-atmosphérique [...] causerait une gêne potentiellement nuisible aux activités poursuivies en matière d'exploration et d'utilisation pacifiques de l'espace extra-atmosphérique [...] peut demander que des consultations soient ouvertes au sujet de ladite activité ou expérience.»*

Un traité qui exigerait des pays qu'ils s'entendent sur certaines zones interdites autour des satellites fonctionnerait selon les mêmes principes. S'il était bien libellé, un tel accord empêcherait un pays de se servir de ses satellites pour gêner les activités d'engins appartenant à un autre pays. Pareille entente aurait pour conséquence générale de créer un milieu sûr pour les activités courantes et non hostiles des satellites.

Un traité sur les zones interdites ne toucherait pas à la recherche et aux essais concernant les armes spatiales, mais il restreindrait le déploiement menaçant de nombreux systèmes d'armes espace-espace. En réglementant les seuils minimaux qu'un véhicule spatial ne pourrait franchir en s'approchant de tel ou tel autre, on pourrait même éviter qu'un déploiement soit perçu comme étant menaçant.

La vérification de l'observation d'un traité bien conçu sur les zones interdites ne poserait pas de problèmes. On pourrait y procéder avec un bon degré de fiabilité en recourant aux techniques existantes de télésurveillance, et sans que des

inspections «intrusives» des véhicules spatiaux mêmes soient nécessaires, car certains pays les acceptent mal. Un tel traité pourrait aussi demander la notification, avant le lancement, des paramètres orbitaux prévus. La *Convention sur l'enregistrement* exige déjà la divulgation internationale des renseignements nécessaires. Il serait possible d'accroître encore davantage la fiabilité, et ce, à un coût modéré, en installant à bord des véhicules spatiaux des radiophares d'identification et de poursuite, comme nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent.

13.4 Interdire les essais d'armes spatiales

Plusieurs traités — le *Traité de 1963 sur l'interdiction partielle des essais d'armes nucléaires*, le *Traité de 1972 sur les missiles AMB* et le *Traité SALT II de 1979* (qui est maintenant expiré) — interdisent l'essai d'armes nucléaires dans l'espace, car les signataires voulaient empêcher la mise au point de systèmes d'armes nucléaires spatiaux. Voilà autant d'ententes qui pourraient servir de modèles à l'élaboration d'un traité qui interdirait dans l'avenir l'essai d'autres types d'armes spatiales, voire de tous les types. Les États-Unis et l'URSS ont déjà mis des armes antisatellites à l'essai, et l'existence d'un tel traité aurait certainement entravé l'exécution de pareils essais.

Pour vérifier l'observation d'un tel traité, on recourrait surtout à l'analyse des dommages intersatellites, décrite dans la Partie II du présent document. On surveillerait, réglementerait ou restreindrait les essais des équipements qui contribuent aux «capacités critiques» propres aux modes d'endommagement. Cela supposerait l'inspection des véhicules spatiaux, sans doute avant le lancement aussi bien qu'en orbite.

Une difficulté importante tient au fait que les traités antérieurs n'interdisaient pas la *recherche* sur les systèmes AMB, en partie parce que l'on ne s'entendait pas sur la distinction à faire, relativement aux armes spatiales, entre les essais «aux fins de la recherche» et les essais de «mise au point». Autre difficulté, bon nombre des capacités critiques dont une arme spatiale doit être dotée sont tout aussi essentielles à l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique. Pour ces raisons, il faudrait sans doute qu'un traité sur les armes spatiales soit draconien pour être efficace : en mettant l'accent sur l'objectif «paix et sécurité» du *Traité sur l'espace extra-atmosphérique*, il entraverait l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique à des fins pacifiques. Cependant, s'il était élaboré parallèlement à d'autres traités qui en compenseraient les lacunes, un traité de ce genre pourrait être utile. En outre, l'analyse des modes d'endommagement faite dans la Partie II (et son pendant, l'analyse sur les modes *de protection*) pourrait aider quiconque chercherait à comprendre ces distinctions critiques.

13.5 Interdire le déploiement des armes spatiales

Un certain nombre de traités existants interdisent le déploiement d'armes nucléaires dans l'espace et offrent ainsi un modèle pour l'élaboration de traités qui, dans l'avenir, réglementeraient le déploiement d'autres types d'armes spatiales. Citons ici le *Traité sur l'espace extra-atmosphérique*, le *Traité sur les missiles AMB*, et les traités *SALT I* et *SALT II*. Un nouveau traité dans ce domaine devrait faire la distinction entre les armes offensives (à interdire ou à réglementer) et les armes défensives (qui seraient sans doute autorisées en vertu du *Traité sur l'espace extra-atmosphérique*).

Techniquement parlant, il serait plus facile de vérifier l'observation d'un traité défendant de déployer des armes spatiales que celle d'un traité qui interdirait les essais. Les moyens de vérification seraient les mêmes dans les deux cas; on recourrait principalement à l'inspection des véhicules spatiaux. Cependant, on pourrait contourner une interdiction qui viserait les essais, en mettant des systèmes à l'essai composante par composante à bord de satellites utilisés par ailleurs à des fins pacifiques, mais il devrait être possible malgré tout de repérer de nombreux types d'armes spatiales en appliquant les techniques d'analyse de l'endommagement et en en comparant les résultats à ceux des inspections faites avant le lancement.

Chapitre 14 : Conclusions

Le présent document résume plusieurs projets de recherche entrepris par *Dynacon Enterprises Ltd.* dans le cadre du Programme de recherche sur la vérification mené par Affaires extérieures et Commerce extérieur Canada.

Nous avons examiné de nombreuses opérations spatiales à buts pacifiques, qui se dérouleront au cours des vingt prochaines années. Parmi les véhicules spatiaux non guerriers existant actuellement, bien peu tombent dans la catégorie des «systèmes ambigus». En fait, vu la définition utilisée ici (voir le paragraphe 2.1), il existe à présent très peu d'armes spatiales. (Nous avons exclu de notre étude les armes à ascension directe basées au sol.) Toutefois, un certain nombre d'opérations spatiales prévues pour l'avenir risquent d'être perçues comme ayant pour objectif la mise au point d'armes spatiales ou le camouflage d'une telle entreprise.

Dans le cadre de l'IDS, les États-Unis exécutent des recherches sur divers systèmes susceptibles de servir d'armes spatiales. Des recherches semblables sont sans aucun doute menées en URSS, bien que l'on en sache moins sur elles. Au moins un des nouveaux systèmes envisagés, à savoir les «cailloux futés», doterait les États-Unis d'une Asat extrêmement efficace. L'extraordinaire manœuvrabilité de ces micro-engins spatiaux de destruction par énergie cinétique permet à chacun d'eux de circuler n'importe où dans l'espace orbital, depuis n'importe quelle altitude de départ. Selon les plans actuels, ce système pourrait être mis sur orbite d'ici quatre ans.

Des ambiguïtés peuvent surgir de bien des façons lorsqu'il s'agit d'opérations spatiales. Tout d'abord, des armes spatiales et des engins spatiaux à buts manifestement pacifiques ont en commun des capacités critiques et certaines caractéristiques. Deuxièmement, un véhicule spatial que l'on présente comme étant une arme risque de pouvoir servir à autre chose également, en dehors de son rôle stratégique annoncé. Les «cailloux futés», dont nous venons de parler en évoquant l'IDS, sont censés servir d'armes antimissiles balistiques; cependant, ils semblent aussi pouvoir fonctionner en tant qu'armes Asat. Qui plus est, comme il serait possible de les déployer sur orbite en grand nombre, ils risqueraient de devenir des armes de première frappe s'ils étaient dirigés contre des satellites.

Nous avons repéré un certain nombre d'opérations ambiguës, quant à la possibilité de les observer avec des moyens de contrôle spatiaux. Nous avons cité des activités bien particulières qui, lorsqu'on les observe, pourraient être perçues comme ayant un but guerrier. Comme il n'est pas possible de dissiper de telles ambiguïtés, même avec des systèmes conventionnels de télésurveillance, il est

évident que des moyens de vérification plus directs s'imposent : pour réglementer les armes dans l'espace, il nous faut pouvoir dire si un «satellite» est ou contient une «arme».

Nous avons consacré des efforts considérables à l'élaboration d'une stratégie utile pour évaluer les dommages qu'un satellite peut causer à un autre, en comptant bien que cette démarche aide à réglementer la présence d'armes dans l'espace. Nous avons relevé vingt-neuf modes d'endommagement en tout, et nous en avons expliqué les paramètres et les caractéristiques. Il est désormais possible de calculer un «indice» quantitatif d'endommagement (relativement à un satellite cible type) pour n'importe quel satellite. Nous avons également élaboré les outils mathématiques et le logiciel nécessaires pour mettre la méthode en œuvre, et nous avons dressé une stratégie détaillée de vérification.

Divers concepts de zone interdite peuvent avoir des conséquences radicalement différentes pour ce qui concerne l'utilisation de l'espace par les pays. La formule «traditionnelle» simpliste évoquée brièvement au chapitre 11 équivaut ni plus ni moins à une militarisation formelle de l'espace orbital, car elle élimine l'accès libre à l'espace en établissant dans ce dernier de véritables frontières nationales permanentes. Pour remédier aux lacunes de cette démarche, *Dynacon* a proposé une nouvelle notion de zone interdite et fourni des exemples pour en illustrer la portée.

Le pistage des satellites et la prévision des orbites, deux méthodes bien établies, représentent les moyens techniques à employer pour vérifier l'observation d'un traité sur les zones interdites. En outre, bien qu'un tel traité ne contribue pas directement à l'élimination des armes dans l'espace, il renforce effectivement la confiance en l'utilisation de ce dernier à des fins pacifiques, en entravant le déploiement menaçant d'armes spatiales. Comme ils n'exigent pas le contrôle des charges utiles des véhicules spatiaux, les traités de ce genre ne nécessitent pas les protocoles d'inspection intrusive allant de pair avec d'autres mesures de vérification plus directes visant les armes spatiales.

Nous avons évalué diverses mesures de renforcement de la confiance, dont différents genres d'inspection, de zones interdites (proprement définies), de régimes de télésurveillance autonomes, et de radiophares de vérification. Ces éléments constituent une base pratique pour concevoir dans l'avenir des accords internationaux de réglementation des armes spatiales. Nous nous sommes inspirés ici de traités antérieurs sur l'espace et la limitation des armements pour nous interroger sur les accords que les pays pourraient adopter relativement aux armes spatiales. Les diverses mesures de vérification envisagées ne nécessitent pas toutes le même degré de coopération entre les parties, ce qui en compromet sensiblement l'applicabilité.

NOTES

1. Nous étudions la signification de l'expression «dommages intersatellites» dans la Partie II (Chapitres 5 à 9) du présent document, où nous dressons une échelle graduée pour mesurer les dégâts causés à un satellite, qui vont de «négligeables» à «fatals» (létalité, destruction du satellite). Nous abordons l'important concept de *distance entre satellites* dans le chapitre 10, concept qui sert de fondement à la notion de *zone de sécurité* (ou *zone interdite*) examinée dans le chapitre 11.

2. Comme la plupart des recherches menées en URSS sur les armes spatiales le sont dans le secret, nous nous concentrerons ici sur les programmes américains, au sujet desquels il existe plus d'information.

3. Pour une description de ce que nous entendons par *capacités critiques*, voir le chapitre 6.

4. C'est là un aspect important, vu la possibilité de mener des inspections sur place ou en mode rapproché en orbite.

5. La méthodologie présentée ici a été conçue à l'origine par Peter Stibrany (détaché auprès d'Affaires extérieures et Commerce extérieur Canada par *Spar Aerospace Ltd.*) et Kieran Carroll (*Dynacon Enterprises Ltd.*).

6. F.R. Cleminson et E. Gilman ont examiné les concepts généraux de la vérification dans *Document de travail théorique sur le concept de vérification de la limitation des armements*, qui a constitué l'Étude nº 1 sur la vérification du contrôle des armements et qui a été publié par le ministère canadien des Affaires extérieures en janvier 1986.

7. Voir Loftus, Tilton et Temple, «Decision Time on Orbital Debris», dans *Aerospace America*, juin 1988.

8. Les satellites *Anik* constituent une famille de satellites canadiens de communications, famille qui a commencé avec *Anik A* en 1972 et qui continue de grandir avec le neuvième de la série, *Anik E*, qui a été lancé sur fusée *Ariane* au moment où nous rédigions la présente étude. (Plusieurs satellites *Anik* portent la même désignation alphabétique.)

9. Quand l'indice d'endommagement du satellite agresseur atteint la valeur critique, laquelle a été fixée à 1 par voie de normalisation, on dit que la cible a été endommagée au point qu'elle ne peut plus fonctionner ou, en termes plus simples, qu'elle a été tuée, ou détruite.

10. *Radarsat* (lancement vers le milieu des années 1990) est le plus récent satellite canadien de reconnaissance des ressources de la Terre, et il est muni d'un radar à ouverture synthétique.

11. Des renseignements de cet ordre figurent dans l'ouvrage publié par le Département américain de la Défense et le *Congressional Office of Technology Assessment*, et intitulé *Anti-Missile and Anti-Satellite Technologies and Programs*, Noyes Publications, Park Ridge (New Jersey), 1986.

12. Une analyse détaillée de ce point de vue n'entre pas dans le cadre du présent rapport.

13. Prenons le cas d'un satellite agresseur circulant sur une orbite elliptique dont l'altitude au périgée est de 200 km et l'apogée, à mi-chemin entre la Terre et l'altitude des orbites des engins géostationnaires. Si 20 p 100 de sa masse est constitué de carburant pour les manœuvres, une poussée vers l'avant au périgée élèvera l'apogée de plus de 20 000 km vers le rayon de l'orbite des satellites géosynchones. Cette distance est plus grande que la portée de la plupart des armes envisagées.

14. Pour en savoir plus sur ce concept peu pratique, voir S. Fetter et M. May, "Protecting U.S. Space Assets from Antisatellite Weapons", dans *The High Technologies and Reducing the Risk of War*, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 489, p. 18 à 37, New York, 1986.

15. Par I. Vlasic, "Preventing Weaponization of Outer Space in the Period of «Glasnost» and «Perestroika»", dans *Arms Control and Disarmament in Outer Space: Towards Open Skies*, vol. 3, p. 147 à 166, Centre de recherche en droit aérien et spatial, Université McGill, Montréal, 1989.

16. Voir le paragraphe 10.2.

17. Le Canada a lancé *Alouette I* le 29 septembre 1962 pour étudier divers aspects de l'ionosphère. Il devenait ainsi le troisième pays, derrière l'URSS et les États-Unis, à faire fonctionner un satellite dans l'espace.

Études ponctuelles sur la vérification du contrôle des armements

N° 1 Garanties de l'Agence internationale de l'énergie atomique. Observations sur les leçons applicables à la vérification découlant d'une convention sur les armes chimiques, par James F. Keeley, novembre 1988.

N° 2 Vérification d'un accord de paix en Amérique centrale, par H.P. Klepak, février 1989.

N° 3 International Atomic Energy Agency Safeguards as a Model for Verification of a Chemical Weapons Convention, H. Bruno Schiefer et James F. Keeley, sous la dir. de, juillet 1989 (publié en anglais seulement).

N° 4 Le contrôle des armements conventionnels et le désarmement en Europe : Un modèle pour l'appréciation de l'efficacité du système de vérification, par James W. Moore, mars 1990.

N° 5 Considérations de sécurité et vérification d'un régime de contrôle des armements en Amérique centrale, par H.P. Klepak, août 1990.

N° 6 Imagerie aérospatiale pour la vérification et le maintien de la paix : trois études, par Allen V. Banner, mars 1991.